

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**  
**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Институт природных ресурсов

Направление подготовки Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Кафедра Химической технологии топлива и химической кибернетики

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы	
<b>Оптимизация рецептов смешения бензинов с использованием компьютерной моделирующей системы</b>	

УДК 665.633:656.13.06

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К21	Свиридова Елизавета Витальевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ХТТ и ХК	Киргина Мария Владимировна	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры МЕН	Сечина Ася Александровна	к.х.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭБЖ	Ахмеджанов Рафик Равильевич	д.б.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой ХТТ и ХК	Юрьев Егор Михайлович	к.т.н.		

Томск – 2016 г.

# Планируемые результаты обучения

## по направлению подготовки бакалавров

### 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять базовые математические, естественнонаучные, социально-экономические и специальные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-1,2,3,14,16,17,18), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
P2	Применять знания в области энерго- и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии для решения производственных задач	Требования ФГОС (ПК-4,5,9,15; ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2)
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.	Требования ФГОС (ПК-4,5,8,11; ОК-2,4), Критерий 5 АИОР (п.1.2)
P4	Проектировать и использовать энерго- и ресурсосберегающее оборудование химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-8,11,23,24), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области энерго- и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-1,4,5,19-22;ОК-7,10), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
P6	Осваивать и эксплуатировать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-6,7,10,12,13,14,17; ОК-3,4,8), Критерий 5 АИОР (п.1.5)
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2,6-10), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-6,7,8), Критерий 5 АИОР (п.2.6)
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-11) , Критерий 5 АИОР (п.2.2)
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3,4,5,12) , Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3)

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт Институт природных ресурсов

Направление подготовки (специальность) Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Кафедра Химической технологии топлива и химической кибернетики

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

Юрьев Е.М.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
2К21	Свиридова Елизавета Витальевна

Тема работы:

<b>Расчетные способы определения низкотемпературных свойств дизельных топлив</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	29.02.2016, № 1631/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2016
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Данные хроматографического анализа сырьевых потоков, вовлекаемых в производство товарных бензинов на предприятии АО «ГАЗПРОМНЕФТЬ-ОНПЗ».
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1 Литературный обзор<ol style="list-style-type: none"><li>1.1 Физико-химические и эксплуатационные свойства бензинов;</li><li>1.2 Торговые марки бензинов и нормативные документы, контролирующие их выпуск на территории Российской Федерации;</li><li>1.3 Технология смешения бензинов;</li><li>1.4 Пути производства высокооктановых бензин;</li></ol></li><li>2 Объект и методы исследования<ol style="list-style-type: none"><li>2.1 Математическое моделирование смешения бензинов;</li><li>2.2 Компьютерная моделирующая система «Compounding»;</li></ol></li><li>3 Практическая часть<ol style="list-style-type: none"><li>3.1 Омский нефтеперерабатывающий завод;</li><li>3.2 Анализ существующих рецептур смешения бензинов;</li></ol></li></ol>

	3.3 Исследование влияния состава вовлекаемого сырья на свойства бензинов; 4 Результаты проведенного исследования 4.1 Корректировка рецептур смешения бензинов 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 6 Социальная ответственность
<b>Перечень графического материала</b>	нет
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Сечина А.А.
Социальная ответственность	Ахмеджанов Р.Р.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
нет	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	01.03.2016
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Киргина М.В.	к.т.н.		01.03.2016

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К21	Свиридова Елизавета Витальевна		01.03.2016

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**Федеральное государственное автономное образовательное**  
**учреждение высшего образования**  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**  
**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт	Институт природных ресурсов
Направление подготовки	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии
Уровень образования	Бакалавриат
Кафедра	Химической технологии топлива и химической кибернетики
Период выполнения	Весенний семестр 2015/2016 учебного года

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2К21	Свиридовой Елизавете Витальевне

Тема работы:

«Оптимизация рецептур смешения бензинов с использованием компьютерной моделирующей системы»	
Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)	22.03.2016, 1631/С

Форма представления работы:

Бакалаврская работа
(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

### ЗАДАНИЕ

<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>	
1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Ставки отчислений</i>	Отчисления на социальные нужды – 30 %
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
1. <i>Расчет капитальных затрат на новое оборудование</i>	Точный расчет всех затрат на покупку нового оборудования, с учетом монтажных работ и транспортировки оборудования
2. <i>Расчет дополнительных затрат на новое оборудование</i>	Расчет дополнительных затрат на оборудование, включающих в себя: -издержки на амортизацию -издержки на ремонт -прочие издержки (0,5-1% от стоимости оборудования)
3. <i>Расчет расходов до и после модернизации оборудования</i>	Проведены расчеты всех затрат до и после установки нового оборудования.

4. Расчет чистого дисконтированного дохода, сроков окупаемости	Расчет чистого дисконтированного дохода, сроков окупаемости при различных капиталовложениях (стандартные, +10%, -10%).
--	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечина А.А.	к.э.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К21	Свиридова Елизавета Витальевна		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2К21	Свиридовой Елизавете Витальевне

Институт	ИПР	Кафедра	ХТТ и ХК
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

*Объектом исследования является процесс смешения автомобильных бензинов. Относится к взрывоопасным, Помещения операторской оборудуются нормальным освещением, устройствами для кондиционирования воздуха, устройствами сигнализации. В сложных условиях контроля и управления технологическим процессом на панели смонтирована мнемоническая схема контролируемого объекта. Экспериментальная часть бакалаврской работы велась на ПК. Рабочая зона - аудитория, которая оборудована системами отопления, кондиционирования воздуха и естественным и искусственным освещением. Рабочее место – стационарное, оборудованное компьютером. Область применения – нефтеперерабатывающая промышленность.*

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

#### 1. Производственная безопасность

1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;
- действие фактора на организм человека;
- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
- предлагаемые средства защиты;
- (сначала коллективной защиты, затем –

*В производственной среде и при применении вычислительной техники вероятно воздействие следующих вредных факторов:*

- повышенная яркость света;
- шум;
- повышенный уровень электромагнитных излучений;
- ухудшение микроклимата,
- вредные вещества.

*Вредные вещества. На установке смешения бензинов присутствуют вредные вещества такие, как:*

<p>индивидуальные защитные средства).</p> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- компоненты бензинов;</li> <li>- толуол;</li> <li>- бензол;</li> <li>- МТБЭ</li> <li>- пары нефтепродуктов и т.д.</li> </ul> <p><i>Средства защиты: хлопчатобумажные костюмы, защитные очки, ботинки кожаные, перчатки фильтрующие противогазы, каска.</i></p> <p><i>К опасным факторам относятся:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- горючесть, взрывоопасность и токсичность веществ применяемых и получаемых на установке;</li> <li>- возможность образования зарядов статического электричества;</li> <li>- наличие электротехнических устройств высокого напряжения;</li> <li>- превышение токсичных веществ в воздухе рабочей зоны.</li> </ul> <p><i>СанПиН 2.2.4.548-96, ГОСТ 12.1.013-78; СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03; СанПиН 2.2.4.1191-03, СанПиН 2.6.1.1015-01; СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96, инструкция по охране труда при работе на ПК</i></p>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p><i>Основными загрязнителями атмосферы на производстве являются:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- компоненты бензинов;</li> <li>- толуол;</li> <li>- бензол;</li> <li>- МТБЭ;</li> <li>- товарные бензины;</li> </ul> <p><i>Повышения экологической безопасности можно достигнуть путем снижения и контроля выбросов во время эксплуатации за счет использования улучшенных фильтрационных и очистительных сооружений.</i></p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p><i>Возникновение ЧС, требующих обеспечения электро- и пожаровзрывобезопасности на рабочем месте.</i></p> <p><i>Перечень возможных ЧС :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- пожар;</li> <li>- взрыв;</li> <li>- розлив продуктов/компонентов производства;</li> </ul> <p><i>Для обеспечения безопасной эксплуатации установки предусмотрена рациональная</i></p>



	<p>технологическая схема с комплексной автоматизацией технологического процесса, позволяющая обеспечить его непрерывность и стабильную работу оборудования. Предусмотрено отключение электрооборудования со щита операторной.</p> <p>ГОСТ Р 22.3.03-94 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Защита населения. Основные положения»</p>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>К нормативным актам, регулирующим вопросы охраны труда, в первую очередь относится Трудовой кодекс Российской Федерации. Для обеспечения безопасности на рабочем месте необходимо руководствоваться санитарными нормами и правилами. Для снижения вредного воздействия химических факторов работникам производства выдается молоко питьевое в количестве 0,5 литра за смену для выведения из организма токсических веществ.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭБЖ	Ахмеджанов Рафик Равильевич	Доктор биологических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К21	Свиридова Елизавета Витальевна		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 107 с., 16 рис., 28 табл., 39 источников.

Ключевые слова: бензины, октановое число, рецептура смешения, математическая модель, компьютерная моделирующая система.

Объект исследования – производство товарных бензинов. Предметом исследования являются рецептуры смешения товарных бензинов.

Цель работы – разработать оптимальные рецептуры смешения товарных бензинов с учетом состава вовлекаемого сырья, отражающие концепцию ресурсоэффективного производства.

В процессе исследования:

- Проанализированы состав, детонационные характеристики и физико-химические свойства сырьевых потоков, а также рецептуры смешения бензинов на предприятии АО «ГАЗПРОМНЕФТЬ-ОНПЗ»;
- Исследовано влияние состава сырьевых потоков на свойства получаемого бензина и рецептуру его смешения;
- Осуществлена корректировка, существующих на предприятии АО «ГАЗПРОМНЕФТЬ-ОНПЗ» рецептур смешения бензинов, с целью увеличения объемов выпуска высокооктановых марок топлива и повышения ресурсоэффективности производства в целом.

В результате исследования были разработаны рецептуры смешения бензинов различных марок с учетом состава вовлекаемого сырья, что позволяет эффективно перераспределять ресурсы производства: избегать нежелательного запаса по детонационным свойствам бензина и экономить высокооктановые сырьевые компоненты для увеличения доли выпуска высокооктановых марок бензина.

Экономическая эффективность/значимость работы: осуществленная корректировка рецептур смешения бензинов позволила увеличить выпуск высокооктановых бензинов на 8%.

# Оглавление

Реферат .....	10
Введение.....	13
1 Литературный обзор .....	16
1.1 Физико-химические и эксплуатационные свойства бензинов .....	16
1.2 Торговые марки бензинов и нормативные документы, контролирующие их выпуск на территории Российской Федерации.....	22
1.3 Технология смешения бензинов .....	26
1.4 Пути производства высокооктановых бензинов.....	29
2 Объекты и методы исследования .....	38
2.1 Математическое моделирование смешения бензинов .....	38
2.2 Компьютерная моделирующая система «Compounding» .....	41
3 Практическая часть .....	44
3.1 Омский нефтеперерабатывающий завод .....	44
3.2 Анализ существующих рецептур смешения бензинов .....	46
3.3 Исследование влияния состава вовлекаемого сырья на свойства бензинов .....	53
4 Результаты проведённого исследования .....	60
4.1 Корректировка рецептур смешения бензинов .....	60
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... 68	
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	68
5.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	72
5.3 Бюджет научно-технического исследования .....	75
5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	81
6 Социальная ответственность .....	84
6.1 Характеристика факторов рабочего места .....	84
6.2 Производственная безопасность.....	88

6.3 Анализ факторов производственной среды .....	90
6.4 Электробезопасность .....	93
6.5 Пожаровзрывобезопасность.....	95
6.6 Охрана окружающей среды .....	97
6.7 Правовые вопросы обеспечения безопасности .....	98
Выводы .....	99
Список публикаций студента.....	100
Список литературы .....	103

## **Введение**

С 1 января 2015 года все нефтеперерабатывающие предприятия Российской Федерации обязаны полностью перейти на выпуск автомобильного бензина экологического класса не ниже Евро-4. Ранее предполагалось, что с января 2016 года на топливо более высокого экологического класса – Евро-5 должна перейти вся страна. Однако в виду ряда причин дату перехода на класс Евро-5 перенесли на полгода – 1 июля 2016 года производители по всей стране должны выпускать топливо только высшего класса (в Москве переход был осуществлён уже с 1 января текущего года).

Для того чтобы решить данную задачу производители моторных топлив реализуют модернизацию существующих предприятий, вводя в производство новые установки вторичной переработки нефти и реконструируя старые. В результате чего увеличивается объём производства нефтепродуктов и повышается глубина переработки нефти, что приводит к улучшению экологических и эксплуатационных свойств моторных топлив. С каждым годом, объём производства низкокачественного бензина марки Нормаль-80 (октановое число по исследовательскому методу 80) уменьшается, при этом доля высокооктановых бензинов – Премиум-95 и Супер-98 (октановые числа по исследовательскому методу 95 и 98 соответственно) растёт.

Для снижения доли выпуска низкооктанового бензина в пользу высокооктанового производителям приходится пересматривать рецептуры смешения топлива, перераспределять сырьё между установками вторичной переработки нефти, а продукты между марками бензина.

Решение данной задачи является крайне сложным в виду ряда технологических особенностей, имеющих место при промышленном производстве бензинов, представляющего собой смешения различных углеводородных потоков, таких как продукты каталитического риформинга,

изомеризации, крекинга, алкилирования, а также антидетонационных присадок и добавок-оксигенатов.

Данный многоступенчатый процесс является одной из наиболее сложных с точки зрения оптимизации промышленных технологий: в него вовлечено большое количество индивидуальных компонентов в условиях постоянного изменения состава сырьевых потоков. Кроме того детонационные свойства смесевых бензинов не подчиняются закону аддитивности, что составляет существенную трудность при оптимизации процесса. Все эти факторы препятствуют выработке единой, универсальной рецептуры для производства той или иной марки бензина, существующие рецептуры нуждаются в постоянной корректировке в зависимости от большого ряда факторов.

Решение подобных многокритериальных и многофакторных задач оптимизации наиболее эффективно может быть выполнено с использованием метода математического моделирования и применения компьютерной моделирующей системы на физико-химической основе.

Целью данной работы является разработка оптимальных рецептур смешения товарных бензинов с учетом состава вовлекаемого сырья, отражающих концепцию ресурсоэффективного производства. Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- 1) Провести анализ существующих рецептур смешения бензинов используемых на АО «ГАЗПРОМНЕФТЬ-ОНПЗ».
- 2) Проанализировать состав, детонационные характеристики и физико-химические свойства сырьевых потоков, вовлекаемых в производство бензина.
- 3) Исследовать влияния состава сырьевых потоков на свойства получаемого бензина и рецептуру его смешения.
- 4) Осуществить корректировку, существующих на предприятии АО «ГАЗПРОМНЕФТЬ-ОНПЗ» рецептур смешения бензинов, с целью

увеличения объемов выпуска высокооктановых марок топлива и повышения ресурсоэффективности производства в целом

Объектом исследования в данной работе является производство товарных бензинов. Предмет исследования – рецептуры смешения товарных бензинов.

Научная и практическая новизна работы: в ходе работы разработаны рецептуры смешения бензинов различных марок с учетом состава вовлекаемого сырья, что позволяет эффективно перераспределять ресурсы производства: избегать нежелательного запаса по детонационным свойствам бензина и экономить высокооктановые сырьевые компоненты для увеличения доли выпуска высокооктановых марок бензина.

Практическая значимость работы: осуществленная корректировка рецептур смешения бензинов позволила увеличить выпуск высокооктановых бензинов на 8% без изменения объемов вовлекаемых сырьевых потоков, что свидетельствует о повышении ресурсоэффективности производства и позволит производителю получить дополнительную прибыль.

Реализация и апробация работы: работа была представлена на девяти Международных конференциях и двух Международных симпозиумах; опубликовано три работы, в журналах, индексируемых в реферативной базе данных Scopus.

# **1 Литературный обзор**

Бензин представляет собой горючую и легковоспламеняющуюся смесь легких углеводородов, полученных в процессе переработки нефти. На сегодняшнее время бензины являются одним из основных видов топлива в нашей стране, которое используется для поршневых двигателей внутреннего сгорания с принудительным воспламенением (от искры).

К современным бензинам предъявляют ряд требований, которые обеспечивают надежную и экономическую работу двигателя и удовлетворяют всем эксплуатационным требованиям и экологическим стандартам.

Процесс производства бензинов – это сложная многофакторная технологическая задача, представляющая собой смешение различных углеводородных потоков, таких как продукты каталитического риформинга, изомеризации, крекинга, алкилирования, ароматических углеводородов, а также антидетонационных присадок и добавок-оксигенатов.

## **1.1 Физико-химические и эксплуатационные свойства бензинов**

Современные бензины должны удовлетворять ряду требований, обеспечивающих экономичную и надежную работу двигателя, и требованиям эксплуатации: иметь хорошую испаряемость, позволяющую получить однородную топливовоздушную смесь оптимального состава при любых температурах; иметь групповой углеводородный состав, обеспечивающий устойчивый, бездетонационный процесс сгорания на всех режимах работы двигателя; не изменять своего состава и свойств при длительном хранении и не оказывать вредного влияния на детали топливной системы, резервуары, резинотехнические изделия и др.

Развитие производства бензинов в первую очередь связано со стремлением улучшить основное эксплуатационное свойство топлива –



*детонационную стойкость*, численным эквивалентом которой является октановое число (ОЧ) бензина.

Детонационная стойкость характеризует способность бензина сгорать в двигателе внутреннего сгорания с воспламенением от искры без детонации. Детонацией называется особый ненормальный режим сгорания топлива в двигателе, при котором только часть рабочей смеси сгорает с обычной скоростью после воспламенения от искры. При сжатии рабочей смеси, температура и давление повышаются, и начинается окисление углеводородов, которое интенсифицируется после воспламенения смеси. Если углеводороды несгоревшей части топлива обладают недостаточной стойкостью к окислению, начинается интенсивное накапливание перекисных соединений, а затем их взрывной распад. При высокой концентрации перекисных соединений происходит тепловой взрыв, который вызывает самовоспламенение топлива. Самовоспламенение части рабочей смеси перед фронтом пламени приводит к взрывному горению оставшейся части топлива, к так называемому детонационному сгоранию [2]. Такое детонационное сгорание приводит к вибрации и вызывает характерный звонкий металлический стук высоких тонов. При детонационном сгорании происходит перегрев двигателя, появляются повышенные износы цилиндропоршневой группы, увеличивается дымность отработавших газов. Для бездетонационного горения наиболее благоприятны такие значения параметров, которые обеспечивают минимальное время сгорания, низкие температуры и наилучшие условия гомогенизации рабочей смеси в камере сгорания.

Вероятность возникновения детонации в данном двигателе значительно зависит от состава автомобильного бензина: наиболее стойки к детонации ароматические и изопарафиновые углеводороды, наименее стойки – нормальные парафиновые углеводороды бензина.

Оценка детонационной стойкости бензинов осуществляется на стандартном одноцилиндровом двигателе с переменной степенью сжатия

(УИТ-65). Определение величины сводится к подбору смеси эталонных углеводородов, которая сгорает с такой же интенсивностью, как и испытуемый бензин при одинаковой степени сжатия. В качестве эталонных углеводородов используются изоктан (2,2,4- триметилпентан, ОЧ = 100) и н-гептан (ОЧ = 0).

*Октановое число* – показатель детонационной стойкости, численно равный процентному содержанию изоктана и н-гептана в эталонной смеси, чья детонационная стойкость эквивалента величине испытуемого бензина. Существует два метода определения ОЧ: жесткий режим с частотой вращения коленчатого вала двигателя 900 об/мин на установке УИ-65 (моторный метод определения октанового числа – ОЧМ) и мягкий режим с частотой вращения коленчатого вала 600 об/мин (исследовательский метод – ОЧИ). Разница между ОЧИ и ОЧМ называется чувствительностью. Наибольшая чувствительность наблюдается у олефинов и ароматических углеводородов, затем идут нафтеновые углеводороды и самой низкой чувствительностью обладают парафины. Лучшими компонентами высокооктановых бензинов являются парафины и ароматические вещества (но при чрезмерном высоком содержании ароматических соединений показатели качества бензинов, такие как токсичность и нагарообразование, ухудшаются) [3].

Для повышения детонационной стойкости бензина используются различные методы, такие как: использование в качестве базовых компонентов бензинов наиболее высокооктановых вторичных продуктов переработки нефти (потоков риформинга, алкилирования); широкое использование компонентов с высокими детонационными характеристиками (изопарафины, ароматические углеводороды), а также применение антидетонационных присадок и добавок-оксигенатов.

На сегодняшний день в России для повышения октанового числа используются две присадки: добавка-оксигенат метилтретбутиловый эфир (МТБЭ) и антидетонационная присадка монометиланилин (ММА). Присадка

МТБЭ является высокооктановым компонентом ( $OCH = 125$ ) и имеет такой же механизм повышения октанового числа, как и высокооктановый поток. Присадка ММА имеет другой механизм воздействия – она разрушает пероксиды, образующиеся на предпламенной стадии горения топлива и вызывающие детонацию, таким образом, повышение октанового числа происходит за счет уменьшения вероятности детонации топлива [4-5].

Но вовлечение различных компонентов, в частности ароматических углеводородов и бензола в производство бензина ограничивается экологическими стандартами, а добавки и присадки являются весьма дорогостоящими компонентами, поэтому любой производитель старается выбрать в качестве базовых компонентов бензина наиболее высокооктановые потоки.

Одним из важнейших свойств бензина является *испаряемость* – она оказывает влияние на эксплуатационные свойства при применении двигателей внутреннего сгорания с принудительным воспламенением. Испаряемость бензина характеризуется такими показателями, как *фракционный состав и давление насыщенных паров (ДНП)*.

Фракционный состав и ДНП оказывают влияние на пусковые свойства бензинов, их склонность к образованию паровых пробок, физическую стабильность, скорость прогрева автомобиля, расход горючего и другие показатели.

Конструкция автомобильного двигателя и климатические условия его эксплуатации определяют требования к фракционному составу и давлению насыщенных паров бензинов. С одной стороны, необходимо предотвратить нарушения в работе двигателя, связанные с образованием паровых пробок при высоких температурах и уменьшить потери бензина при хранении и транспортировании, с другой стороны – обеспечить запуск двигателя при низких температурах. На пусковые свойства бензина значительно влияет содержания в нем легких фракций, которые определяются по давлению насыщенных паров и температуре перегонки 10% или объему легких

фракций, выкипающих при температуре до 70 °С. При низкой температуре окружающего воздуха, легких фракций в бензине требуется больше.

На сегодняшний день наиболее распространёнными методами для определения ДНП в лаборатории являются: определение при температуре 37,8°С и соотношении паровой и жидкой фаз (3,8-4,2):1 в «Бомбе Рейда» (ГОСТ 1756-52 «Нефтепродукты. Методы определения давления насыщенных паров») или аппарате с механическим диспергированием типа «Вихрь» (ГОСТ 28781-90 «Нефть и нефтепродукты. Метод определения давления насыщенных паров на аппарате с механическим диспергированием»).

Фракционный состав бензинов можно определять с помощью перегонки на специальном приборе, при этом замеряют температуру начала перегонки, температуру выпаривания 10, 50, 90% и конца кипения, или объем выпаривания при 70, 100 и 180 °С.

С понижением давления насыщенных паров бензина пусковые свойства бензинов ухудшаются, причем при давлении 34 кПа запуск двигателя становится невозможным из-за низкой концентрации паров бензина в рабочей зоне. Однако чрезмерное давление насыщенных паров бензина вызывает неполадки в работе прогретого двигателя из-за образования паровых пробок в системе топливоподачи. Причиной образования паровых пробок в автомобильном двигателе является интенсивное испарение топлива вследствие его перегрева. На образование паровых пробок влияет испаряемость бензина, температура и конструкция двигателя. Бензин с более высоким давлением насыщенных паров, низкой температурой начала кипения и перегонки 10% и большим объемом фракции, выкипающей при температуре до 70 °С, имеет наибольшую склонность к образованию паровых пробок. Для нормальной работы двигателя бензин должен иметь ДНП в определенном интервале, поэтому в ГОСТ Р 51105-97 «Топлива для двигателей внутреннего сгорания. Неэтилированный бензин»

имеется ограничение, как для верхнего, так и для нижнего уровня давления насыщенных паров

Содержание в бензине легкокипящих фракций влияет на его физическую стабильность, т.е. склонность к потерям от испарения. Бензины, содержащие в своем составе низкокипящие углеводороды, такие как, бутаны и изопентан, имеют наибольшие потери от испарения.

Как было указано выше, значительное влияние на испаряемость автомобильных бензинов оказывают температурные условия их применения. В нашей стране для учета климатических особенностей автомобильные бензины по фракционному составу и давлению насыщенных паров подразделяют на два вида: зимний и летний. По показателям испаряемости ГОСТ Р 51105-97 «Топлива для двигателей внутреннего сгорания. Неэтилированный бензин» предусматривает пять классов бензинов. Требования к фракционному составу и давлению насыщенных паров определяются сезоном и климатическим районом применения. Такая классификация в большей степени удовлетворяет требованиям эксплуатации двигателей в разных климатических условиях и будет способствовать более экономичному и рациональному использованию топлив.

*Химическая стабильность* – величина, которая характеризует способность бензина сохранять свои свойства и состав при длительном хранении, перекачках, транспортировании или при нагревании впускной системы двигателя. Химические изменения в бензине, происходящие в условиях транспортирования или хранения, связаны с окислением входящих в его состав углеводородов. Следовательно, химическая стабильность бензинов определяется скоростью реакций окисления, которая зависит от условий процесса и строения окисляемых углеводородов.

Содержащиеся в бензинах неуглеводородные примеси также влияют на их химическую стабильность. Наихудшей химической стабильностью обладают бензины термодеструктивных процессов – термического крекинга, коксования, пиролиза, каталитического крекинга, которые в значительных

количествах содержат олефиновые и диолефиновые углеводороды, а наилучшей – бензины каталитического риформинга, прямогонные бензины, продукты алкилирования и изомеризации.

Химическую стабильность товарных бензинов и их компонентов оценивают стандартными методами путем ускоренного окисления при температуре 100 °С и давлении кислорода по ГОСТ 4039-88 «Бензины автомобильные методы определения индукционного периода». Этим методом определяют индукционный период, т.е. время от начала испытания до начала процесса окисления бензина. Чем выше индукционный период, тем выше стойкость бензина к окислению при длительном хранении.

*Коррозионная активность* бензинов обуславливается наличием в бензинах неуглеродных примесей, в первую очередь сернистых и кислородных соединений и водорастворимых кислот и щелочей. Качественное определение оценивается общим содержанием серы, кислотностью, содержанием меркаптановой серы, испытанием на медной пластинке и содержанием водорастворимых кислот и щелочей [3].

## **1.2 Торговые марки бензинов и нормативные документы, контролирующие их выпуск на территории Российской Федерации**

На сегодняшний день одним из документов, законодательно устанавливающих технические требования к неэтилированным бензинам нового поколения, является ГОСТ Р 51866-2002, принятый и введенный в действие Постановлением Госстандарта России от 31 января 2002 г. и соответствующий европейской нормали ЕН 228 – 2004 г., принятой Европейским комитетом по стандартизации 24 декабря 2003 г., с дополнительными требованиями, учитывающими потребности экономики страны.

Дополненный нормативный документ ГОСТ Р 51866-2002 (ЕН 228-2004) «Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия» в

последней редакции включает в себя информацию о технических требованиях, предъявляемых к бензинам марок Премиум Евро-95 и Супер Евро-98, классах испаряемости, используемых присадках, требованиях, определяемых климатическими условиями и методах испытаний бензинов.

Согласно данному документу выпуск бензина в России осуществляется по следующим маркам:

- Бензин АИ-80 (Нормаль);
- Бензин АИ-92 (Регуляр);
- Бензин АИ-95 (Премиум);
- Бензин АИ-98 (Супер);

В феврале 2008 г. Правительством Российской Федерации утвержден Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 013/2011 «О требованиях к автомобильному, авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту», в котором были установлены требования к выпускаемым в оборот и находящимся в обороте автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту.

Согласно техническому регламенту бензин, производимый на заводе, должен удовлетворять всем экологическим требованиям, представленным в документе: содержание серы, ароматических веществ, бензола, олефинов и т.д.

Приложение №1 к техническому регламенту «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту» содержит требования к характеристикам автомобильного бензина с изменениями от 7 сентября 2011 г. (Таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Требования предъявляемые к характеристикам автомобильного бензина согласно Техническому регламенту Таможенного союза  
ТР ТС 013/2011

Характеристики автомобильного бензина	Единица измерения	Нормы в отношении			
		класса 2	класса 3	класса 4	класса 5
Массовая доля серы, не более	мг/кг	500	150	50	10
Объемная доля бензола, не более	%	5	1		
Концентрация железа, не более	мг/дм <sup>3</sup>	отсутствие			
Концентрация марганца, не более	мг/дм <sup>3</sup>	отсутствие			
Концентрация свинца, не более	мг/дм <sup>3</sup>	отсутствие			
Массовая доля кислорода, не более	%	—	2,7		
Объемная доля углеводородов, не более:	%				
ароматических		—	42	35	
олефиновых		—	18		
Давление паров, не более:	кПа				
в летний период		—	45-80	45-80	45-80
в зимний период		—	50-100	50-100	50-100
Объемная доля оксигенатов, не более:	%				
метанола		—	отсутствие		
этанола		—	5		
изопропанола		—	10		
третбутанола		—	7		
изобутанола		—	10		
эфиров, содержащих 5 или более атомов углерода в молекуле		—	15		
других оксигенатов (с температурой конца кипения не выше 210 °С)		—	10		
Объемная доля монометиланилина, не более		%	1	1	1

Требования, предъявляемые к качеству современных автомобильных бензинов, подразделяются на 4 группы:

- требования производителей автомобилей для обеспечения нормальной работы двигателя;



- требования производителей бензинов, обусловленные возможностями современной нефтеперерабатывающей промышленности;
- требования к окислительной стабильности топлив, связанные с транспортированием и хранением бензинов;
- экологические требования, направленные на снижение антропогенной нагрузки на атмосферу.

Современными конкурентоспособными автомобильными бензинами могут быть только бензины, сочетающие в себе высокие потребительские свойства с выполнением требований действующих экологических стандартов.

Но как видно из табл. 1.1 с увеличением класса топлива экологические требования к топливу становятся все жестче (содержание серы, бензола и ароматических веществ), а так как все производители должны с каждым годом повышать качество выпускаемых бензинов, то процесс производства бензина с каждым годом становится все более сложной задачей для производителя.

Главная сложность проблемы выпуска высокооктановых бензинов заключается в противоположности этих свойств.

Так, исследовательское октановое число должно быть улучшено без использования тетраэтилсвинца и антидетонационной присадки ММА (класс 5). Носителями высоких значений ОЧИ автобензина являются ароматические соединения и олефины, однако их содержание строго ограничивается экологическими требованиями. Ужесточение требований к «чувствительности» бензинов накладывает ограничения по использованию бензинов, получаемых непосредственно каталитическим крекингом, пиролизом и полимеризацией.

На сегодняшний день экологические требования к топливам становятся определяющими из-за отрицательного воздействия, связанного с токсичностью соединений, попадающих в атмосферный воздух, воду, почву непосредственно из топлива (испарения, утечки) или с продуктами его

сгорания. В составе отработавших газов бензиновых двигателей преобладают: окись углерода, углеводороды и оксиды азота, а также ароматические вещества (альдегиды, безапирен) [6].

Улучшение экологических свойств бензинов обеспечивается введением ограничений по содержанию отдельных токсичных веществ, групповому углеводородному составу, содержанию низкокипящих углеводородов, а также по содержанию серы и бензола. Эти ограничения позволяют обеспечить надежную работу каталитической системы нейтрализации отработанных газов и способствуют уменьшению воздействия автомобильного парка на загрязнение окружающей среды, но при этом делают задачу производства высокооктановых и высококачественных бензинов оптимизационно сложной.

### **1.3 Технология смешения бензинов**

Процесс производства бензинов, или процесс компаундирования – это сложный многоступенчатый процесс, который является крайне трудоемкой с точки зрения оптимизации промышленной технологией в виду ряда некоторых особенностей:

- детонационные свойства смесевых бензинов не подчиняются закону аддитивности;
- в резервуарных парках не всегда имеется нужное для смешения количество сырьевого потока;
- в виду постоянного изменения состава вовлекаемого сырья и доступности сырьевых потоков необходим жесткий контроль рецептуры смешения и своевременное изменение ее при необходимости;
- количество сырьевых компонентов, вовлекаемых в смешение, может быть 5-8, а может и достигать 20 в зависимости от мощности завода.

Сегодня существует три основных метода компаундирования для приготовления товарных бензинов на заводе:

- циркуляционный – приготовление производится в смесительных резервуарах;
- смешение в аппаратах с перемешивающими устройствами;
- непосредственное смешение в трубопроводах.

При производстве товарных нефтепродуктов путем компаундирования входящих в его состав компонентов чаще всего на производстве используется циркуляционный способ перемешивания жидкостей [7].

Широкое распространение получили смесители циркуляционного типа, принципиальная схема которых представлена на рис. 1.1.

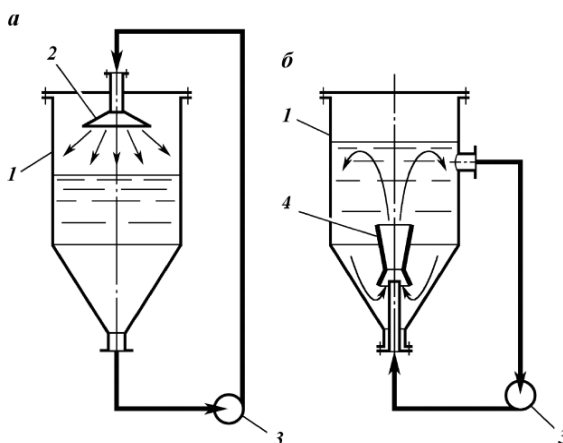


Рисунок 1.1. Схемы циркуляционных смесителей

а) смеситель с циркуляционным насосом; б) смеситель с циркуляционным насосом и эжектором; 1 – емкость; 2 – разбрызгиватель; 3 – циркуляционный насос; 4 – эжектор.

Метод приготовления товарной продукции многократной циркуляцией через смесительные резервуары в общем случае заключается в следующем:

- компоненты товарных продуктов с технологических установок поступают в компонентные резервуары парков смешения, здесь происходит анализ качества этих потоков;
- определяется рецептура смешения бензинов, расход каждого из вовлеченных в смешение потоков, а затем нужное количество сырья из резервуара парка смешения насосами подаются в смесительный резервуар;

- приготовленный в смесительном резервуаре продукт забирается специальными насосами и многократно перекачивается по схеме «резервуар-насос-резервуар» до тех пор, пока в резервуаре не будет получена однородная по составу смесь. Данная смесь проходит анализ на качество и соответствие требованиям, предъявляемым к готовому продукту.

Пример схемы компаундирования с циркуляционными насосами показан на рис. 1.2. В резервуарах типа Р-1 готовятся следующие марки автомобильных бензинов: Регуляр-92, Премиум-95, Супер-98. Приготовление партии высокооктанового бензина производится в соответствии с рассчитанной рецептурой. Для заправки компонентов автомобильных бензинов в резервуар Р-1 используются трубопроводы с насосами различной производительностью.

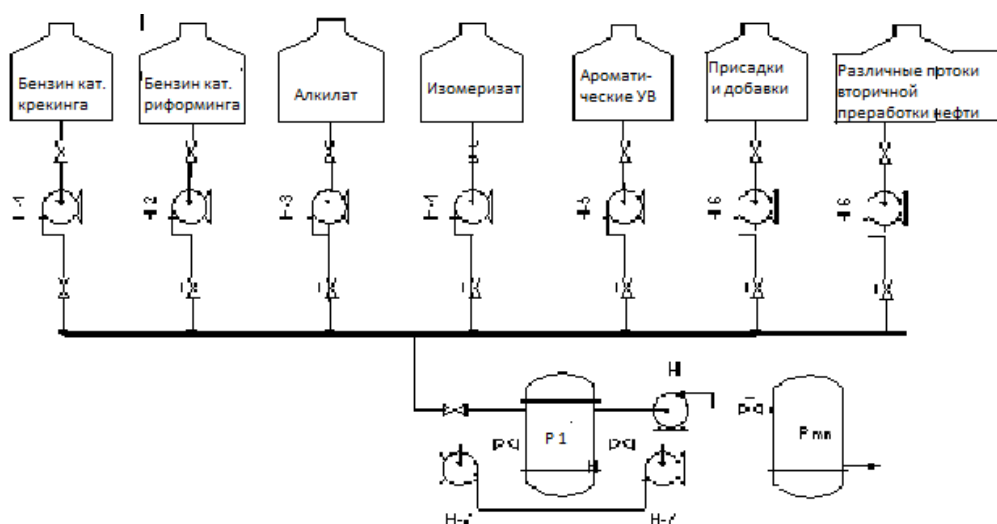


Рисунок 1.2. Схема компаундирования с циркуляционными насосами

Для циркуляции смеси компонентов в резервуаре Р-1 используются 2 циркуляционных насоса Н-7. Расположение перемешивающих устройств и их суммарная пропускная способность обеспечивают полную гомогенизацию всего объема нефтепродукта. Оптимальная продолжительность перемешивания составляет 3 часа и при необходимости может быть увеличена.

При приготовлении необходимо соблюдать порядок заправки компонентов в резервуары. Последовательность, как правило, должна быть

такой, чтобы в первую очередь закачивались компоненты с большей плотностью, а затем – с меньшей плотностью.

После окончания циркуляции смеси компонентов в резервуаре производится отстаивание нефтепродукта в течение 2-х часов, освобождение от воды и механических примесей. Контроль качества нефтепродукта в резервуаре производится товарной лабораторией [7].

#### **1.4 Пути производства высокооктановых бензинов**

На каждом российском НПЗ, в зависимости от существующей технологической ситуации и схем компаундирования, для увеличения выпуска высокооктановых бензинов и улучшения их свойств, необходимо применять различные пути решения этой проблемы, учитывая ряд факторов, в том числе:

- размеры необходимых инвестиций;
- мощность НПЗ по сырью после модернизации;
- тип и характеристики исходного сырья;
- структуру спроса на нефтепродукты на внутреннем и внешнем рынках, объемы их производства и цены;
- состояние технологических установок;

При этом одним из главных показателей для достижения положительного результата является правильность выбранного пути модернизации завода: чаще всего в период модернизации НПЗ производится реконструкция или строительство новых установок, что позволяет улучшить технико-экономических и экологических показатели товарных продуктов [8].

Способы получения высокооктановых, экологически чистых бензинов на сегодняшний день можно разделить на три группы:

1. Использование в качестве базовых компонентов бензинов высокооктановых и высококачественных сырьевых потоков – бензин каталитического риформинга, каталитического крекинга, изомеризации, алкилирования, а также чистых компонентов – бутана и пентановой фракции.

Далее будут рассмотрены основные процессы вторичной переработки нефти и их потоки, вовлекаемые в производство бензинов, а также пути повышения эффективности данных установок.

Таблица 1.2 – Компонентный состав автомобильных бензинов России, США и Европе

Показатели	Россия	США	Европа
Общий объем бензинового фонда, млн. тонн в год	24	330	130
Компонентный состав, % об.			
Бутаны	5,7	7	5
Риформат	54,1	34	48,2
Фракция кат.крекинга	20	35,5	27
Изомеризат	1,5	5	5
Алкилат	0,3	11,2	5
Оксигенаты	0,2	3,6	2
Фракция прямой перегонки гидрокрекинга	13,3	3,1	7,3
Фракция термических процессов	4,9	0,6	0,5

*Бензины каталитического риформинга*, как видно из табл. 1.2, являются основным компонентом при производстве бензинов в России. Этому обязывают высокие детонационные характеристики потока – ОЧИ варьируется от 100 до 105, ОЧМ – от 90-95. Бензины каталитического риформинга характеризуются низким содержанием серы, в их составе практически отсутствуют олефины, поэтому они высокостабильны при хранении. Однако повышенное содержание в них ароматических углеводородов (60-70%) и бензола ограничивает их содержание в бензинах. Также недостатком риформатов является большая чувствительность между октановыми числами – 1-12 пунктов.

Наиболее современной промышленной моделью процесса риформинга остается платформинг с непрерывной регенерацией катализатора и вертикально – друг над другом расположенными реакторами, работающими при низком давлении (0,35 МПа). Он обеспечивает высокий выход бензина с низким содержанием бензола и высоким октановым числом – до 105 (ОЧИ), а также максимальный выход водорода при малой жесткости процесса.

Поскольку в составе технологических систем производства бензинов большинства отечественных НПЗ превалирует процесс риформинга, то модернизацию завода целесообразно начинать с этого процесса: необходимо повысить эффективность установок процесса – путем риформирования бензина с температурой начала кипения выше 100 °С, разделения риформата на легкий и тяжелый, реконструкции и нового строительства установок со схемами непрерывной регенерации катализатора, путем введения катализаторов последних поколений, отличающиеся высокими показателями (стабильность, выход водорода и селективность). Также на каждом НПЗ необходимо определить предельную мощность развития процесса бензинового риформинга, исходя из необходимости обеспечения в товарной массе бензинов суммарной ароматики не более 25% (с учетом наличия ароматических веществ в каталитическом крекинге), в том числе бензола – не более 1% об.

Одним из путей повышения доли риформата в смешение бензина является снижение содержания бензола в риформате – подготовка сырья риформинга, заключающаяся в удалении из него так называемых предшественников бензола. Для этого в качестве сырья установок риформинга обычно используется утяжеленное сырье, с началом кипения 82-85 °С.

Так, компания Uitramar (США) ввела установку фракционирования сырья риформинга с целью извлечения из него фракции предшественников бензола, которая затем направляется на смешение, минуя риформинг.

Это позволило снизить содержание бензола в риформате с 5 до 1% об., что повлекло за собой снижение общего октанового числа бензина из-за разбавления риформата довольно таки низкооктановой фракцией н.к. – 85 °С.

Но фирмой UOP был предложен вариант, в котором тяжелая фракция  $C_{7+}$ , уже с извлеченным бензолом и его предшественниками, подвергалась риформингу на установке низкого давления, что в итоге позволяло получить

продукт с низким содержанием бензола и одновременно повышенным октановым числом. Однако в условиях отечественной нефтепереработки предварительное разделение сырья на фракции не дает хороших результатов, так как на большинстве заводов процесс риформинга проводят в жёстком режиме при давлениях 2 МПа, при этом количество бензола, которое образуется в результате реакций деалкилирования, много больше [9, 10].

Перспективными для отечественной нефтепереработки являются процессы гидроизомеризации бензола. В данном процессе предусматривается выделение легкой фракции катализата риформинга жесткого режима, содержащей бензол, с последующей ее гидроизомеризацией на алюмоплатиновом катализаторе, промотированном фтором или хлором. Бензол при этом превращается в метилциклопентан [11, 12].

Вторым наиболее распространённым компонентом товарного бензина являются *продукты каталитического крекинга*. Основным недостатком бензинов каталитического крекинга является большая разность октановых чисел по исследовательскому и моторному методам, составляющая 11-13 пунктов, поэтому даже бензины, полученные в наиболее жестких условиях с октановым числом 92-93 пункта по исследовательскому методу, имеют октановое число по моторному методу всего 78-81.

Модернизация установок крекинга позволяет достичь высокой глубины переработки сырья – одного из главных показателей нефтепереработки. Заводы, располагающие наряду с риформингом процессами каталитического крекинга и развивающие этот процесс на базе установок ККФ (каталитический крекинг флюида с псевдооживленным слоем катализатора) последнего поколения, имеют (наряду с решением проблемы углубления переработки нефти) более широкие возможности выбора приемлемых схем производства современных экологически чистых бензинов.

В первую очередь, применение технологии ККФ дооборудованной блоками предварительной гидроочистки или легкого гидрокрекинга,



согласно технологии UOP, позволяют переработать тяжелый вакуумный газойль.

Также развитие процесса на базе установок ККФ ведет к созданию установок по производству алкилбензинов и высокооктановых кислородсодержащих компонентов, включая этерифицированный легкий бензин ККФ и диизопропиловый эфир (ДИПЭ), получаемый из пропилена. Непосредственно для процессов ККФ целесообразно проработать применение соответствующих катализаторов для жесткого режима крекирования предварительно гидроочищенного сырья с целью получения необходимого сырья для установок алкилирования новейшего поколения (с твердым катализатором).

В последние годы *процесс изомеризации* (поток изомеризата) стал одним из самых рентабельных способов получения высокооктановых и экологически чистых компонентов бензина. Поток изомеризата не содержит ароматических соединений, но при этом обладает высокими октановыми числами (ОЧИ = 90-94) и минимальной разницей между исследовательским и моторным октановыми числами (2-3 пункта).

Существующие на ряде заводов установки изомеризации можно улучшить при помощи реконструкции с дооборудованием блоками извлечения и рециркуляции слаборазветвленных углеводородов C<sub>5</sub>, C<sub>6</sub> (технология Repex-DIG фирмы UOP) и заменой катализаторов на более эффективные, также возможно введение новых установок изомеризации бензиновых фракций н.к. – 100 °С

Наряду с изомеризатом превосходным компонентом высококачественных бензинов является *алкилат*. Алкилат, состоящий в основном из изопарафиновых углеводородов, имеет высокое октановое число (до 99 пунктов по исследовательскому методу) и по комплексу эксплуатационных свойств является наиболее качественным, но и одним из самых дорогих и сложных в производстве компонентов автомобильных бензинов [6, 14].

В последние годы разработке и реализации технологий алкилирования на твердых катализаторах уделено большое внимание. Известны технологии FBA фирмы Haldor Topsoe с использованием неподвижного катализатора с жидкой суперкислотой на твердом носителе технологии фирм UOP Alkylene с использованием непрерывной регенерацией твердого катализатора, а также технология, разработанная в Институте нефтехимических процессов (ИНХП) НАН Азербайджана и внедряемая на Бакинский НПЗ.

Разработанный процесс представляет собой процесс алкилирования (и олигомеризации) олефинсодержащих  $C_3$ - $C_5$  газов каталитического крекинга на промышленном цеолитсодержащем катализаторе типа ОМНИКАТ, специально модифицированном Ni, Cr, Co, где в качестве связующего использован  $\gamma$ - $Al_2O_3$ . При переходе на новый катализатор выход бензина увеличивается минимум на 20%, при этом расход сырья для производства 1 тонны бензина снижается примерно на 0,6 тонн. С переходом на твердый катализатор снижаются единовременные расходы на производство, и упрощается регенерация катализатора процесса [13].

*Бутан и фракция  $C_5$*  также используются в качестве высокооктановых компонентов. Они обладают высокими значениями давления насыщенных паров и помогают улучшать пусковые свойства бензинов, но необходимо контролировать концентрацию этих компонентов в бензине, так как превышенное значение ДНП отрицательно влияет на пусковые свойства бензинов.

Несмотря на то, что для производства бензинов используется достаточно широкий набор потоков вторичной переработки нефти с хорошими эксплуатационными характеристиками, выпуск бензина с октановым числом 95 и выше затруднен. В большинстве случаев для производства данных видов топлив используются другие пути повышения детонационных характеристик топлив: добавление различных добавок-оксигенатов и антидетонационных присадок [15].

2. Ранее в России было разрешено применение единственной антидетонационной присадки – N-метиланилин (ММА). На ряде заводов присадка получила достаточно широкое применение: прирост октанового числа при введении 1 % об. составляет 4-5 пунктов. Но недостатки ММА значительны – токсичность, склонность к смолообразованию, плохие органолептические свойства, а при больших концентрациях отмечается повышенный износ деталей цилиндропоршневой группы, отложений в топливной системе, а также увеличение содержания окислов азота в отработавших газах

Но по инициативе Министерства энергетики Российской Федерации с 1 января 2016 г. Присутствие ММА предлагается запретить во всех марках бензина в соответствии с требованиями Технического регламента Таможенного союза (ТР ТС 013/2011) по причине экологической опасности, токсичности присадки, поэтому применение данной присадки в скором времени будет невозможно.

3. Добавки-оксигенаты – кислородсодержащие соединения, преимущественно сложные эфиры, являются одними из перспективных компонентов для получения высокооктановых бензинов. Наибольшее распространение из них получили метил-третбутиловый эфир (МТБЭ) и его смесь с третбутиловым спиртом (фэтерол). Введение МТБЭ в бензин позволяет повысить полноту его сгорания и равномерность распределения октановых чисел по фракциям.

Максимально допустимая концентрация МТБЭ в бензинах составляет 15% из-за его относительно низкой теплоты сгорания, высокой агрессивности по отношению к резинам и экологической опасностью выхлопных газов. Главными недостатками процесса производства МТБЭ являются высокая себестоимость продукта и ограниченные ресурсы сырья – изобутена, из-за чего возникает недостаток в объеме производства МТБЭ. По различным подсчетам экспертов при переходе на Евро-5 в подобность в

МТБЭ возрастёт до 2-2,5 млн. тонн в год, однако российское производство составляет только 1 млн. тонн.

Но отказ от ММА и ограниченное вовлечение МТБЭ в бензин заставляет производителя искать другие пути для увеличения детонационных характеристик топлив. Последние годы на российском рынке появляются новые добавки и присадки для повышения октанового числа.

Не так давно на российском рынке появилась октаноповышающая добавка московской компании ООО «РНТ компани» – «R&T Octane». Добавка обладает высокими антидетонационными свойствами, не содержит в составе железа, свинца, марганца, ММА и производится по ТУ 0275-006-63538901. Среди преимуществ присадки стоит отметить: значительное увеличение октанового числа при небольшой дозировке (1-2 %), уменьшение испаряемости насыщенных паров, хорошая химическая стабильность присадки, низкий уровень загрязненности выхлопных паров, экономия топлива на 6-8%. Присадка «R&T Octane» в 3-5 раз превосходит МТБЭ по антидетонационной эффективности, требует меньших затрат на транспортирование и хранение. Также данная добавка прошла лабораторные испытания в составе автомобильных бензинов в различных лабораториях России [16].

Еще одной разработкой на рынке присадок является разработка Пекинской компании «Кенле» – активатор октанового числа бензина T1109E. Активатор октанового числа T1109E представляет собой беззольную органическую присадку, содержащую такие основные соединения, как синтетические производные органических продуктов ковалентного эфира алкоокислоты без тяжёлых металлов и вредных веществ. Прирост октанового числа составляет 1,5-2,1 пункта при объеме добавления 1 % об. Присадка экологически безвредна, не имеет ограничений по объему добавления, предоставляет возможность свободного увеличения ОЧИ и антидетонационного индекса без ущерба для качества топлива. Область применения присадки: компенсация ОЧ бензина каталитической

гидрогенизации, общее увеличение октанового числа бензина, компенсация ОЧ бензина компаундирования – полуфабриката в нефтехимических компаниях, увеличение ОЧ алкилатного, этерифицированного, каталитического, очищенного бензина [17].

Как можно видеть, процесс производства бензинов является очень сложной технологической оптимизационной задачей. Большую роль в этой задаче отводится грамотному подбору сырья при производстве бензинов, а также составлению оптимальной рецептуры смешения бензинов, которая позволит избежать перерасхода дорогого и высокооктанового сырья и выпуска некондиционных партий бензина с плохими эксплуатационными характеристиками.

## 2 Объекты и методы исследования

### 2.1 Математическое моделирование смешение бензинов

В процессе приготовления бензинов смешением различных потоков определяющая роль отводится **октановым числам смешения (ОЧС)**, которые отличаются от взвешенной суммы октановых чисел (ОЧ) отдельных компонентов. Октановые числа смешения зависят от углеводородного состава нефтепродукта, содержания различных компонентов в смеси и других факторов. У парафиновых углеводородов ОЧС выше действительных ОЧ, у ароматических зависимость более сложная. Разница между ОЧ и ОЧС может быть существенной и достигать 20 пунктов.

Для расчета результирующего ОЧ делают допущение, что вклад каждого компонента пропорционален его содержанию в смеси, т.е. предполагают, что октановое число смеси является аддитивным либо по массе, либо по объему:

$$ОЧ_{add} = \sum_{i=1}^n (ОЧ_i C_i) \quad (2.1)$$

Однако подобное допущение об аддитивности октановых чисел смешения нецелесообразно, т.к. простой расчет показывает, что погрешность  $\Delta ОЧ$  в таких случаях превышает допустимую. Причиной отклонений является наличие взаимодействий между углеводородами, входящими в состав бензинов. Поскольку детонационная стойкость является интегральной характеристикой реакционной способности, напрямую зависящей от структуры молекул, возникающие межмолекулярные силы будут влиять на неаддитивность октановых чисел смешения бензинов.

Установлено, что силы межмолекулярного взаимодействия (ММВ) определяющим образом зависят от полярности молекул компонентов бензиновой смеси. Считается, что молекулы углеводородов являются неполярными, однако известен тот факт, что молекулы ароматических углеводородов легко поляризуются и тем самым приобретают наведенный

дипольный момент. По величине дипольного момента можно судить об изомерии и конформации органических соединений, конфигурации координационных узлов комплексов, о взаимном влиянии атомов и связей в молекуле[18-21].

Таким образом, были установлены количественные закономерности между величиной полярности компонентов бензиновой смеси (дипольным моментом) и неаддитивностью октановых чисел смешения, согласно которым октановое число смешения можно представить в виде суммы двух составляющих: аддитивной и неаддитивной [22-24[]]:

$$OЧ_{см} = \sum_{i=1}^n (OЧ_i \cdot C_i) + B \quad (2.2)$$

где  $OЧ_{см}$  – октановое число смешения бензинов;  $B$  – суммарное отклонение октановых чисел от аддитивности;  $C_i$  – концентрация  $i$ -го компонента, отн. ед.

$$B = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=2}^n B_i B_j C_i C_j \quad (2.3)$$

$B_i, B_j$  – величины, характеризующие склонность  $i$ -й молекулы к межмолекулярному взаимодействию с  $j$ -й молекулой, которую можно выразить через дипольные моменты молекул:

$$B_i = \alpha \left( \frac{D_i}{D_{max}} \right)^n \quad (2.4)$$

где  $\alpha$  и  $n$  – кинетические параметры, определяющие интенсивность межмолекулярных взаимодействий в зависимости от дипольного момента  $D$ , для молекулы толуола численно равные 2,21 и 1,09 соответственно;  $D_{max}$  – максимальный дипольный момент молекул ароматических углеводородов  $C_{9+}$ .

Таким образом, полярность молекул компонентов, направляемых на узел компаундирования бензинов, оказывает влияние на отклонения октановых чисел смешения от правила аддитивности. Поэтому учет взаимодействий между молекулами в модели смешения позволяет прогнозировать октановые числа бензинов значительно точнее, чем аддитивные модели. Однако неаддитивность при смешении проявляют не

только углеводороды бензиновой фракции, но и добавки и присадки, вовлекаемые в процесс компаундирования, в силу их полярности.

Антидетонационный эффект присадки является многофакторной величиной, зависящей от состава присадки, механизма ее действия, углеводородного состава базового бензина. Принимая во внимание экспоненциальную зависимость октанового числа от содержания антидетонационной присадки, механизм действия присадки можно описать дифференциальным уравнением 1-го порядка, характеризующим скорость изменения октанового числа от концентрации вводимой присадки:

$$a \frac{dOЧ}{dC} + bOЧ + c = 0 \quad (2.5)$$

С начальными условиями: при  $C = 0$   $OЧ = OЧ_0$ , где  $OЧ_0$  – исходное октановое число бензиновой смеси. Решение данного дифференциального уравнения является количественным описанием действия присадки и представляет собой зависимость:

$$\Delta OЧ = A \cdot (1 - e^{-B \cdot C}) \quad (2.6)$$

где  $C$  – концентрация антидетонатора;  $\Delta OЧ$  – прирост по октановому числу;  $A$  и  $B$  – коэффициенты, характеризующие эффективность присадки согласно приведенному выше механизму, которые были оценены по экспериментальным данным. При высоких значениях концентрации присадки, ее эффективность постепенно снижается, т.е.:

$$e^{-B \cdot C} \rightarrow 0 \quad (2.7)$$

Таким образом, коэффициент  $A$  будет равен максимально возможному приросту  $OЧ$  для конкретной присадки:

$$\Delta OЧ = A \cdot (1 - e^{-B \cdot C}) \approx A \cdot (1 - 0) = A = \Delta OЧ_{\max} \quad (2.8)$$

При преобразовании уравнения (2.6) была получена математическая модель процесса компаундирования, учитывающая влияние антидетонационных присадок на прирост октанового числа базового бензина:

$$OЧ_i = OЧ_0 + \Pi \cdot \Delta OЧ_{\max} \cdot (1 - e^{-K_{эфф} \cdot C_{np}})$$

$$C_{np} = \frac{C_i}{C_{\max}} \quad (2.9)$$



где  $\Pi$  – величина, характеризующая приемистость разного типа топлива к присадке;  $K_{эфф}$  – коэффициент эффективности присадки, определяющий скорость протекания реакций разрушения пероксидов по приведенному выше механизму,  $C_{пр}$  – приведенная концентрация присадки, равная отношению концентрации присадки  $C_i$  к максимально допустимой концентрации присадки в бензине  $C_{max}$ . В уравнении (9) коэффициент приемистости бензинов  $\Pi$  равен 0,7-1,0 для прямогонного базового бензина, в то время как для бензинов каталитического риформинга и крекинга  $\Pi$  изменяется в интервале от 0,6 до 0,7 в зависимости от углеводородного состава бензина [25, 26].

## **2.2 Компьютерная моделирующая система «Compounding»**

На сегодняшний день на рынке программного обеспечения существует ряд коммерческих пакетов, таких как: Aspen Process Industry Modeling System (Aspen PIMS) компании Aspen Technology Inc., Blend Ratio Control (BRC) и Refinery and Petrochemical Modeling System (RPMS) компании Honeywell International Inc. и Blend Optimization and Supervisory System (BOSS) компании Invensys plc., позволяющих оптимизировать использование сырьевых ресурсов цеха смешения. Эти программы дают возможность автоматически рассчитывать оптимальную с экономической точки зрения рецептуру смешения. Однако, несмотря на значительные достоинства подобных программ, применение их в ряде случаев затруднительно, ввиду того, что при проведении расчетов часто используются не фактические свойства тех или иных компонентов, а условные характеристики смешения, что может привести к значительным погрешностям расчетов.

Также на предприятиях широко внедряются автоматизированные системы управления процессом компаундирования включающие в себя одновременно с программным обеспечением для оптимизации рецептур

смешения систему управления и автоматизации процессов запуска, отключения, работы клапанов и насосов цеха смешения. Так же подобные системы оборудованы поточными анализаторами для обеспечения обратной связи. Однако изначально неточный расчет основных показателей бензина, не учитывающий реакционные взаимодействия компонентов бензиновой смеси, затрудняет работу всей автоматизированной системы в целом.

На основе разработанных математических моделей в среде быстрых разработок компьютерных приложений Borland «Delphi 7» была создана компьютерная моделирующая система расчета процесса компаундирования высокооктановых бензинов «Compounding» (рис. 2.1). При разработке программы была использована технология создания многооконных приложений, это удобно при сравнении расчетов с различными параметрами процесса.

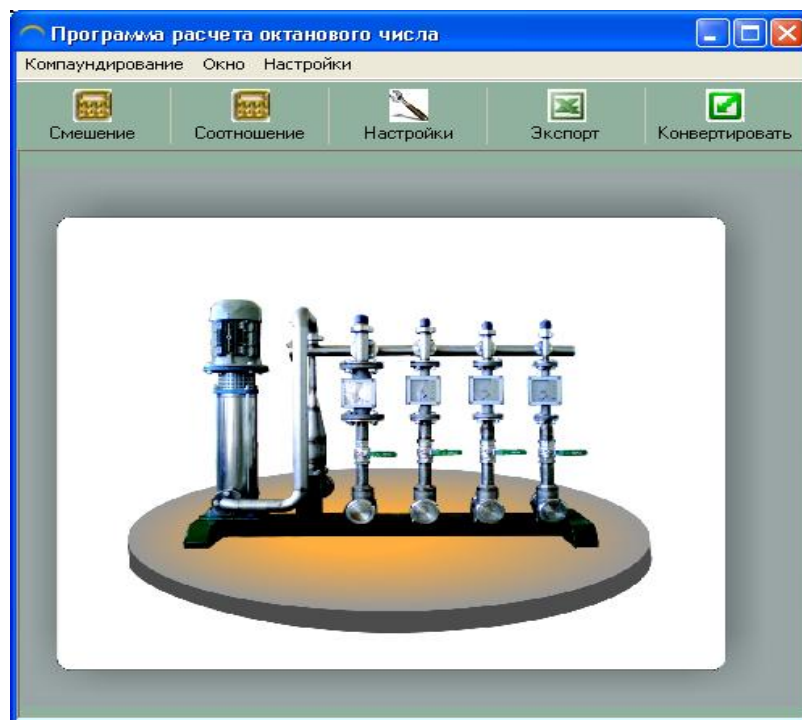


Рисунок 2.1. Главное диалоговое окно моделирующей системы  
«Compounding»

Компьютерная моделирующая система позволяет осуществлять расчет следующих характеристик для бензинов и углеводородных потоков:

1) Октановые числа по моторному и исследовательскому методу на основе учета межмолекулярных взаимодействий между углеводородами бензиновой смеси.

2) Плотность смеси по формуле Менделеева:

$$\rho_4^t = \rho_4^{20} - \Delta t \cdot (t - 20) \quad (2.10)$$

где  $\rho_4^t$  – плотность при температуре  $t$ , кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_4^{20}$  – плотность при температуре 20 °С, кг/м<sup>3</sup>;  $\Delta t$  – температурная поправка к плотности на 1 °С.

3) Вязкость смеси по формуле Оррика и Эрбара:

$$\ln \frac{\eta}{\rho M} = \alpha + \frac{\beta}{T} \quad (2.11)$$

где  $\eta$  – вязкость, сП;  $T$  – температура, К;  $\rho$  – плотность при  $T = 20$  °С;  $M$  – молярная масса;  $\alpha, \beta$  – константы, зависящие от природы вещества.

4) Давление насыщенных паров по уравнению Антуана:

$$\ln P_T = A - B / (T + C) \quad (2.12)$$

где  $T$  – температура, К;  $A, B, C$  – физико-химические константы.

5) Содержание различных углеводородов, таких как бензол, ароматические и олефиновые углеводороды.

Исходными данными для расчета в системе являются данные об углеводородном составе потоков, то есть данные хроматографического анализа. Для унификации входных данных система снабжена блоком автоматической обработки хроматограмм. В процессе обработки любая хроматограмма сводится к 110 ключевым компонентам, на основе данных о содержании которых, и осуществляется расчет.

В системе имеется возможность вручную задавать расходы (пропорции) входных потоков, таким образом, рассчитывая детонационные характеристики полученных смесей. Кроме того в системе «Compounding» имеется возможность разрабатывать рецептуры смешения компонентов для производства бензина заданной марки и качества [25, 26, 27].

## **3 Практическая часть**

### **3.1 Омский нефтеперерабатывающий завод**

АО «Газпромнефть-Омский НПЗ» – дочернее предприятие компании «Газпром нефть», является одним из самых современных нефтеперерабатывающих заводов России и одним из крупнейших в мире. Установленная мощность завода является наибольшей по России и составляет 21,57 млн. тонн нефти в год. Глубина переработки сырья растет с каждым годом и на сегодняшний момент равна 93,56%, что является максимальным значением среди НПЗ России.

Сегодня Омский НПЗ выпускает порядка 50 наименований продукции. Из этого перечня основная часть приходится на топлива: автомобильные, дизельные, котельные.

В 2010 г. Омский НПЗ отметил свой 55-летний юбилей – к этому времени на заводе были реализованы следующие проекты:

1. Реконструкция установки гидроочистки дизельного топлива Л-24/9 с целью получения компонента «Л» с содержанием серы не более 10 ppm.

2. Реконструкция блока вторичной перегонки бензинов установки ЭЛОУ-АВТ-6М (АВТ-10) с целью улучшения разделения бензиновых фракций для получения квалифицированного сырья риформинга и изомеризации.

3. Модернизированы установки гидроочистки дизельного топлива Л-24/6 и Л-24/7.

Дальнейшими мероприятиями по переходу к выпуску Класа 5 стали:

1. Пуск в эксплуатацию в ноябре 2010 г. установки изомеризации легких бензиновых фракций «Изомалк-2». Проектная мощность установки – 800 тыс. тонн в год по сырью.

2. Пуск в эксплуатацию в мае 2012 г. установки селективной гидроочистки бензинов каталитического крекинга Prime-G+ по технологии фирмы «Аксенс» (Франция).

3. Пуск в эксплуатацию установки короткоцикловой адсорбции ВСГ (КЦА) по проекту фирмы UOP (США) производительностью 276 тонн в сутки по ВСГ.

4. Пуск в эксплуатацию установки гидроочистки дизельного топлива Union fining.

Проведенные к 60-летию предприятия по реконструкции комплекса КТ-1\1 позволило заводу полностью перейти на выпуск бензина класса 5.

Также при капитальном ремонте 2015 г. была увеличена производительность установки сернокислого алкилирования, улучшена гидроочистка вакуумного газойля, а также увеличена производительность каталитического крекинга КТ-1/1 [28].

Таким образом, можно увидеть, что Омский НПЗ имеет один из самых современных наборов технологических процессов и является одним из самых передовых и современных нефтеперерабатывающих заводов в России.

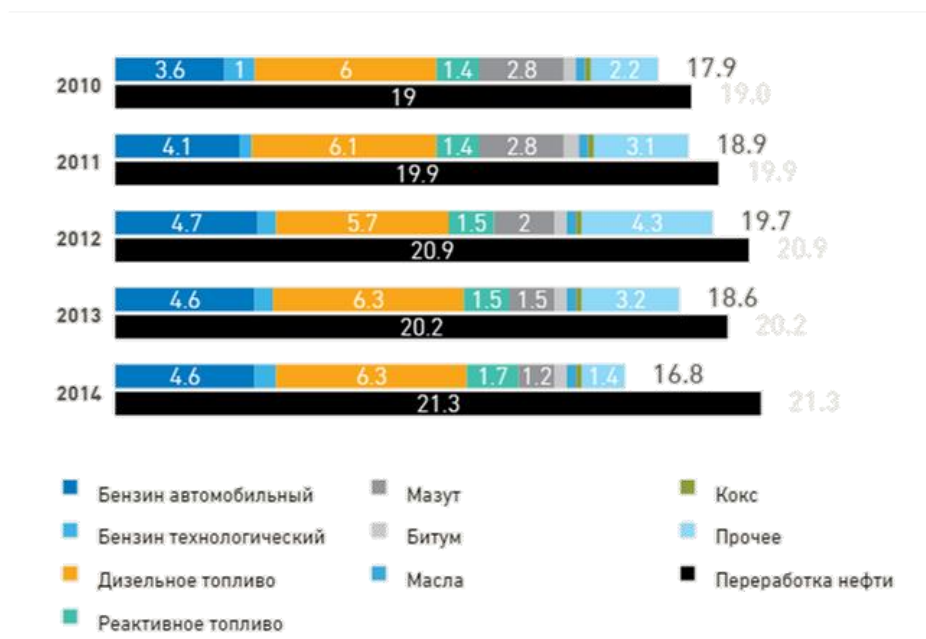


Рисунок 3.1. Переработка нефти и выработка нефтепродуктов на АО «Газпромнефть-Омский НПЗ», млн. тонн

В 2014 году завод достиг максимального показателя по объемам нефтепереработки в России, переработав 21,3 млн. тонн нефтяного сырья – на 5,2% больше, чем в 2013 году. Таким образом, в прошлом году завод достиг практически максимального уровня по объемам нефтепереработки.

Как видно из рис. 3.1 доля производства автомобильного бензина достаточно высока, от общего выпуска нефтепродуктов на заводе, и составляет более 20%, при том, что объемы выпуска автомобильного бензина увеличиваются с каждым годом. АО «Газпромнефть-Омский НПЗ» увеличил объем производства бензина экологического стандарта Евро-5 за девять месяцев 2015 года по сравнению с аналогичным периодом прошлого года на 11,6% – до 3,2 млн. тонн. Наибольший прирост – 15% – зафиксирован в выпуске бензина «Регуляр-92» стандарта Евро-5: объем его производства достиг 2,16 млн. тонн [29].

### **3.2 Анализ существующих рецептур смешения бензинов**

В ходе выполнения работы был исследован процесс приготовления бензинов на одном из крупнейших заводов России – АО «Газпромнефть-Омский НПЗ».

Для исследования использовались 16 углеводородных потоков, которые вовлекаются в приготовление бензинов на предприятии. В ходе исследования с использованием моделирующей системы «Compounding» были рассчитаны основные свойства бензинов (ОЧИ, ОЧМ, содержание ароматических компонентов и бензола, ДНП) а также воспроизведены рецептуры приготовления бензинов различных марок.

На заводе осуществляет производство бензина следующих марок – Нормаль-80, Регуляр-92, Премиум-95, Супер-98 и Газового бензина, который является нетоварным продуктом – полуфабрикатом.

Таблица 3.1 – Объем производства бензинов на АО «ГАЗПРОМНЕФТЬ-ОМНПЗ»

<b>Марка бензина</b>	<b>Объем выпускаемой продукции, тонны</b>
Нормаль-80	20 714

Регуляр-92	253 012
Премиум-95	102 878
Супер-98	7 080
Газовый бензин	67 619

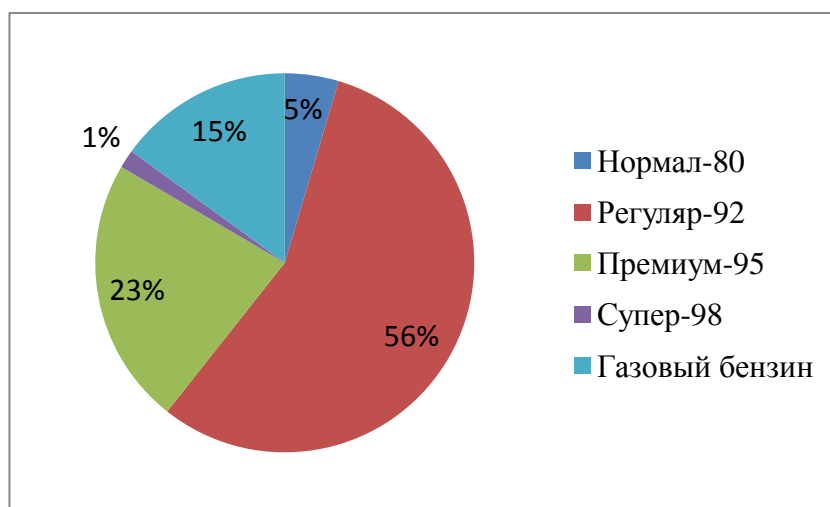


Рисунок 3.2. Объемы производства бензинов на АО «ГАЗПРОМНЕФТЬ-ОНПЗ», % мас.

Как можно видеть из табл. 3.1 и рис. 3.2 основную долю производимых бензинов (объемы производства за один месяц) составляет бензин марки Регуляр-92 – 56%, на долю высокооктановых бензинов – таких как Премиум-95 и Супер-98 приходится меньше четверти выпускаемой продукции. Стоит отметить, что производство наиболее высокооктанового и качественного бензина – Супер-98 составляет всего 1%. Тогда как, производство газового бензина, который является не товарным продуктом – 15%. Такое соотношение объемов производства является неэффективным, с точки зрения использования исходного сырья, кроме того, задача как повышение качества выпускаемых нефтепродуктов, т.е. производство высокооктановых бензинов, является приоритетной задачей для любого производителя.

Для приготовления бензинов на заводе используют следующие потоки:

- Бензин каталитического крекинга с секции С-300 комплекса глубокой переработки нефти КТ-1/1 (Кат.крекинг);

- Риформат с установки каталитического риформинга бензинов с периодической регенерацией катализатора Л-35/11-600 (Риформат н/с)
- Риформат с установки каталитического риформинга бензинов с непрерывной регенерацией катализатора Л-35/11-1000 (Риформат д/с);
- Гидроочищенный бензин каталитического крекинга с установки каталитического крекинга 43-103 (ГО БКК);
- Изомеризат с установки изомеризации легких бензиновых фракций по технологии Изомалк-2 (Изомеризат);
- Фракция изопентановая с установки изомеризации легких бензиновых фракций по технологии Изомалк-2 (Изопентан №1);
- Фракция изопентановая с газофракционирующей установки (Изопентан №2);
- Алкилбензин с установки сернокислотного алкилирования 25-12 (Алкилат);
- Прямогонная бензиновая фракция «62-85 °С» секции С-100 комплекса производства ароматики (Бензин прямогонный №1);
- Фракция С<sub>9</sub> с секции С-900В комплекса производства ароматики (Ароматические УВ С<sub>9</sub>);
- Прямогонная бензиновая фракция «62-85 °С» с установки АВТ (Бензин прямогонный №2);
- Бензин-рафинат с секции С-400 комплекса производства ароматики (Рафинат);
- Метилтретбутиловый эфир с секции производства МТБЭ комплекса глубокой переработки нефти КТ-1/1 (МТБЭ);
- н-бутан;
- Толуольный концентрат с секции С-900А комплекса производства ароматики (Толуол);
- Конденсат с секции С-300 комплекса производства ароматики (Конденсат);



Таблица 3.2 – Объемы сырьевых потоков, используемых для смешения бензинов

Поток	Объем, тонны	Процентное содержание по отношению к общему объему, %
Алкилат	27 729	6,14
Риформат н/с	31 103	6,89
Риформат д/с	70 215	15,56
ГОВКК	93 246	20,66
Кат.крекинг	69 022	15,29
Изомеризат	30 171	6,69
Изопентан №1	34 343	7,61
Изопентан №2	4 552	1,01
Ароматические УВ С9	3 828	0,85
Бензин прямогонный №1	38 127	8,45
Бензин прямогонный №2	22 197	4,92
Рафинат	17 807	3,95
МТБЭ	4 114	0,91
н-бутан	3 765	0,83
Толуол	742	0,16
Конденсат	342	0,08

В табл. 3.3 приведены основные свойства сырьевых потоков, используемых для воспроизведения заводских рецептур.

Таблица 3.3 – Основные свойства сырьевых потоков

Поток	ОЧИ	ДНП, КПа	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Содержание веществ, % мас.				
				н-парафины	изопарафины	бензол	ароматика	олефины
Алкилат	<b>97,5</b>	34,7	679,1	5,12	94,94	0,00	0,00	0,00
Риформат н/с	<b>94,6</b>	28,3	780,1	11,65	22,54	2,62	62,95	0,25
Риформат д/с	<b>104,5</b>	19,9	813,4	6,10	12,63	2,44	79,65	0,33
ГОВКК	<b>84,7</b>	44,1	711,3	6,12	36,98	0,67	22,31	20,01
Кат.крекинг	<b>90,9</b>	54,0	741,1	4,51	30,89	0,74	35,04	19,19
Изомеризат	<b>90,9</b>	63,0	637,7	0,36	95,54	0,00	0,00	0,00
Изопентан №1	<b>92,5</b>	144,8	601,2	2,96	97,05	0,00	0,00	0,00
Изопентан №2	<b>92,4</b>	146,3	600,9	3,82	96,18	0,00	0,00	0,00
Ароматические УВ С9	<b>121,6</b>	0,9	850,0	0,00	0,00	0,00	99,38	0,00
Бензин прямогонный №1	<b>59,3</b>	26,1	859,4	25,10	28,53	0,32	5,04	0,03

Бензин прямогонный №2	<b>60,4</b>	24,3	716,3	19,87	21,31	1,36	1,52	0,00
Рафинат	<b>51,9</b>	23,9	713,8	24,09	61,43	0,03	0,60	1,68
МТБЭ	<b>125</b>	40,3	721,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
н-бутан	<b>93,6</b>	355,4	731,3	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Толуол	<b>117</b>	7,2	813,2	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
Конденсат	<b>80,1</b>	2,3	676,7	0,58	51,73	0,75	39,92	0,00

Как можно видеть из табл. 3.2 и 3.3, более половины сырья, используемого для приготовления бензинов, это сырье с высоким содержанием ароматических углеводородов и бензола – потоки риформат н/с, риформат д/с, ГОБКК, кат.крекинг. Но согласно требованиям ГОСТ Р 51866-2002 и Технического регламента Таможенного союза, содержание ароматических углеводородов и бензола в бензинах строго регламентировано: допустимая норма для ароматических углеводородов – 35% мас.; бензола – 1% мас. Также можно заметить, что для данных потоков характерно низкое значение ДНП в связи с высоким содержанием ароматических углеводородов (высокое ДНП характерно для легких парафинов и изопарафинов). Величина ДНП регламентируется при производстве бензинов: от 45 кПа до 60 кПа для летнего времени и от 50 кПа до 80 кПа для зимнего времени.

Таким образом, можно видеть, что процесс производства бензинов, а именно подбор рецептуры смешения является крайне сложной оптимизационной задачей – производитель должен выпустить продукт, который бы соответствовал всем требованиям ГОСТ Р 51866-2002 и Технического регламента Таможенного союза с учетом свойств исходного сырья.

В табл. 3.4 представлены рецептуры смешения бензинов, используемые на предприятии, в табл. 3.5 указаны основные свойства бензинов, получаемых по приведенным в табл. 3.4 рецептурам, рассчитанные с использованием моделирующей системы «Compounding».

Таблица 3.4 – Рецептуры смешения бензинов, используемые на предприятии  
АО «ГАЗПРОМНЕФТЬ-ОНПЗ»

Наименование продукта	Наименование компонента	Доля, % мас.
Газовый бензин	Бензин прямогонный №1	43,96
	Бензин прямогонный №2	29,92
	Рафинат	26,12
Бензин Нормал-80	Кат.крекинг	65,14
	Бензин прямогонный №1	28,74
	Бензин прямогонный №2	5,85
	Рафинат	0,19
	Конденсат	0,07
Бензин Регуляр-92, Евро-5	Алкилат	4,47
	Риформат н/с	12,06
	Риформат д/с	14,27
	ГОВКК	28,71
	Кат.крекинг	18,15
	Изомеризат	5,72
	Изопентан №1	13,07
	Изопентан №2	1,73
	Ароматические УВ С9	1,11
	н-бутан	0,61
	Толуол	0,07
	Конденсат	0,03
Бензин Премиум-95, Евро-5	Алкилат	14,83
	Риформат н/с	0,54
	Риформат д/с	31,15
	ГОВКК	19,92
	Кат.крекинг	7,74
	Изомеризат	14,67
	Изопентан №1	1,24
	Изопентан №2	0,16
	Ароматические УВ С9	0,98
	Бензин прямогонный №1	2,23
	Бензин прямогонный №2	0,63
	Рафинат	0,01
	МТБЭ	3,29
	н-бутан	1,92

Бензин Супер-98, Евро-5	Толуол	0,43
	Конденсат	0,23
	Алкилат	16,51
	Риформат н/с	0,64
	Риформат д/с	29,23
	ГОВКК	1,49
	Кат.крекинг	23,26
	Изомеризат	8,68
	Бензин прямогонный №1	2,15
	Бензин прямогонный №2	1,45
	Рафинат	1,26
	МТБЭ	10,24
	н-бутан	3,36
	Толуол	1,74

Таблица 3.5 – Свойства бензинов, производимых по существующим на заводе рецептурам

Параметр	Нормал-80	Регуляр-92	Премнум-95	Супер-98	Газовый бензин
ОЧИ	80,0	92,0	95,0	98,0	57,7
ОЧМ	73,2	85,2	88,1	90,4	53,4
ДНП, КПа	44,1	57,5	45,4	47,8	25,0
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	732,3	718,4	731,0	734,5	705,2
Вязкость, с·Па	47,0	41,8	44,4	43,8	38,6
н-парафины, % мас.	11,37	6,15	7,07	8,37	23,27
Изопарафины, % мас.	29,70	44,81	42,68	37,23	34,97
Нафтены, % мас.	21,86	6,29	5,89	4,93	38,55
Бензол, % мас.	0,66	0,99	0,99	0,94	0,55
Ароматика, % мас.	24,40	32,90	34,87	34,03	2,82
Олефины, % мас.	12,55	9,31	5,78	4,87	0,45

Как можно видеть из табл. 3.5, все свойства производимых бензинов соответствуют требованиям Технического регламента Таможенного союза и ГОСТ Р 51866-2002. Для всех марок бензинов содержание ароматических углеводородов и бензола не превышает допустимую норму (35 % мас. и 1% мас.), значения октановых чисел соответствуют требованиям стандартов, не происходит перерасход сырья. Такой показатель, как ДПН бензина, находится в пределах нормы, соответственно, бензин будет обладать хорошими пусковыми свойствами.

### 3.3 Исследование влияния состава вовлекаемого сырья на свойства бензинов

В процессе компаундирования бензина главной задачей производителя является составление оптимальной рецептуры смешения и выбор наиболее подходящего сырья для смешения, чтобы выпускаемый продукт соответствовал всем требованиям ГОСТ Р 51866-2002 и Технического регламента Таможенного союза.

Для исследования влияния состава сырья на рецептуру и свойства бензина были взяты потоки, имеющие значительные отличия по со составу и детонационным характеристикам (наихудшие свойства – сырье I, наилучшие – сырье II), которые являются базовыми для приготовления бензина:

- Риформат д/с;
- Риформат н/с;
- ГОБКК;
- Изомеризат;
- Изопентан;

В табл. 3.6 приведены основные свойства сырьевых потоков.

Таблица 3.6 – Основные свойства сырьевых потоков

Поток	ОЧИ	ДНП, КПа	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Содержание веществ, % мас.				
				н-пара- фины	изопара- фины	бензол	арома- тика	оле- фины
Риформат н/с								
Риформат н/с_I	90,7	27,7	780,3	11,27	26,26	1,22	58,57	0,11
Риформат н/с	94,6	28,3	780,1	11,65	22,54	2,62	62,95	0,25
Риформат н/с_II	97,5	24,0	791,7	10,16	20,71	1,34	66,57	0,18
Риформат д/с								
Риформат д/с_I	102,8	19,3	813,1	6,34	13,4	1,53	78,99	0,32
Риформат д/с	104,5	19,9	813,4	6,10	12,63	2,44	79,65	0,33
Риформат д/с_II	106,6	18,4	825,7	5,26	12,35	1,01	81,55	0,23
ГОБKK								
ГОБKK_I	83,5	14,8	754,9	6,02	31,66	0,78	33,56	12,56
ГОБKK	84,7	44,1	711,29	6,12	36,98	0,67	22,31	20,01
ГОБKK_II	86,6	41,4	714,19	5,95	33,85	0,66	25,14	22,57

<b>Изомеризат</b>								
Изомеризат_I	89,1	61,0	637,1	0,91	96,21	0,00	0,00	0,00
Изомеризат	90,9	63,0	637,7	0,36	95,54	0,00	0,00	0,00
Изомеризат_II	93,4	67,4	637,3	0,01	94,47	0,00	0,00	0,00
<b>Изопентан №1</b>								
Изопентан №1_I	91,5	140,5	602,0	5,21	94,8	0,00	0,00	0,00
Изопентан №1	92,5	144,8	601,2	2,96	97,05	0,00	0,00	0,00
Изопентан №1_II	92,9	151,3	600,0	2,78	97,23	0,00	0,00	0,00

Как видно из табл. 3.6, разница в октановых числах у вариативных потоков составляет примерно 2 пункта (максимальное – 4 пункта, минимальное – 0,5). Но наибольшее влияние при смешении на свойства получаемого бензина оказывает содержание веществ (бензола, ароматических углеводородов) в вовлекаемом сырье. Для потоков с высоким содержанием бензола – риформат н/с и риформат д/с, содержание бензола в вариативных потоках (т.е. потоки с высоким и низким ОЧ) в два раза меньше, чем в усредненном потоке. Таким образом, можно прогнозировать, что при приготовлении бензина с вовлечением данных потоков, общее количество бензола уменьшится, что положительно скажется на эксплуатационных свойствах бензина.

Как можно видеть из табл. 3.6, вовлечение в смешение бензина вариативных потоков ГОБKK приведет к увеличению содержания ароматических веществ, при чем, использование потока с низким ОЧ (ГОБKK\_I) повлечет не только понижение ОЧ продукта, но и значительное повышение количества ароматических веществ. Также стоит заметить, что для потока ГОБKK\_I наблюдается очень низкое значение ДПН в связи с высоким содержанием ароматических веществ, вовлечение такого потока в производство может привести к значительному понижению ДНП бензина и ухудшению пусковых качеств топлива.

С использованием представленных вариативных сырьевых потоков были рассчитаны два варианта рецептур смешения бензинов:

- в качестве сырья использовались высокооктановые потоки;
- сырьем служили потоки с низким октановым числом;

Результаты расчёта приведены в табл. 3.7, 3.8, 3.9.

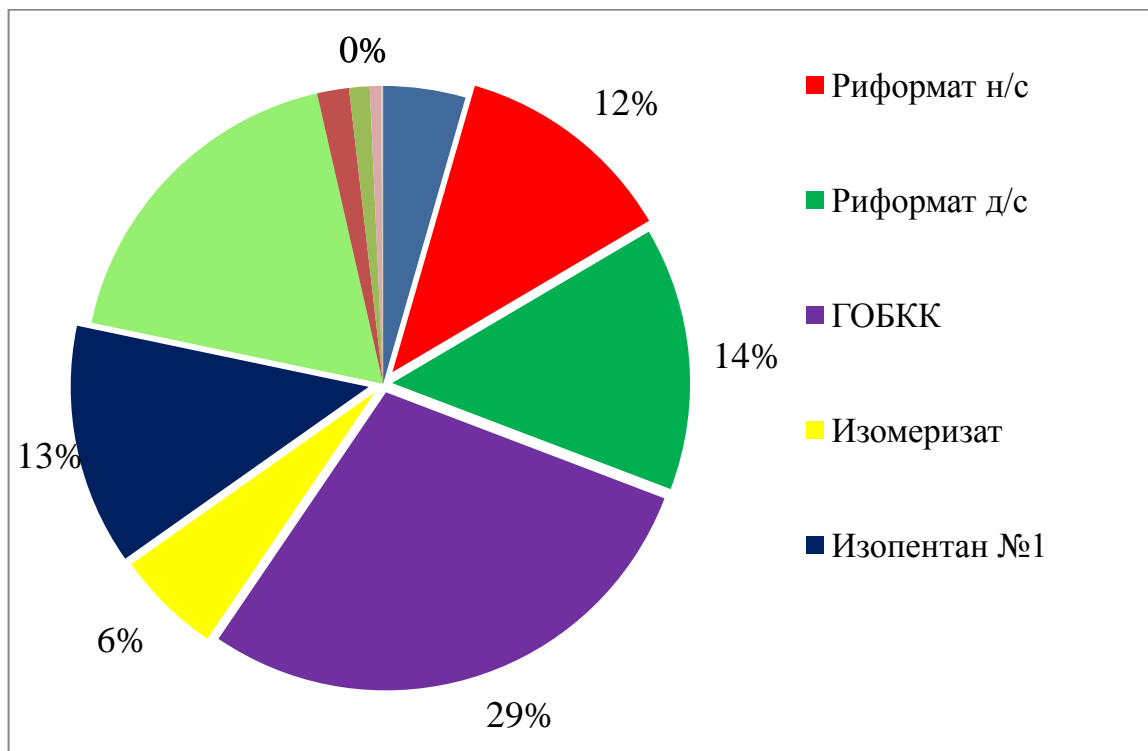


Рисунок 3.3. Рецепттура смешения бензина марки Регуляр-92

Таблица 3.7 – Свойства бензина марки Регуляр-92, производимых по рецептурам с вариативным сырьем

Свойство	Регуляр 92 (I)	Регуляр 92	Регуляр 92 (II)
ОЧИ	91,2	92	93,1
ОЧМ	84,3	85,2	85,3
ДНП, КПа	48,3	57,5	57,1
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	731,0	718,4	722,3
Вязкость, с·Па	43,4	41,8	43,5
н-парафины, % мас.	6,45	6,15	5,77
Изопарафины, % мас.	43,61	44,81	43,63
Нафтены, % мас.	7,12	6,29	5,72
Бензол, % мас.	0,73	0,99	0,63
Ароматика, % мас.	35,52	32,9	34,43
Олефины, % мас.	7,14	9,31	9,97

Как можно видеть из рис. 3.3 вовлечение потока ГОБKK в производство бензина марки Регуляр-92 является значительным (29% мас.), что в значительной степени отразилось на изменении свойств получаемого бензина. В связи с высоким содержанием ароматических углеводородов в потоке ГОБKK, суммарное содержание ароматических углеводородов в бензине увеличилось значительно, и для бензина марки Регуляр-92 (I)

превысило допустимую норму (35% мас.). Содержание бензола, как и прогнозировалось ранее, понизилось в обоих случаях. Также стоит отметить, ДНП бензина Регуляр-92 (I) снизилось на 9 КПа, в связи с вовлечением потока ГОБКК\_I, с низким значением ДНП.

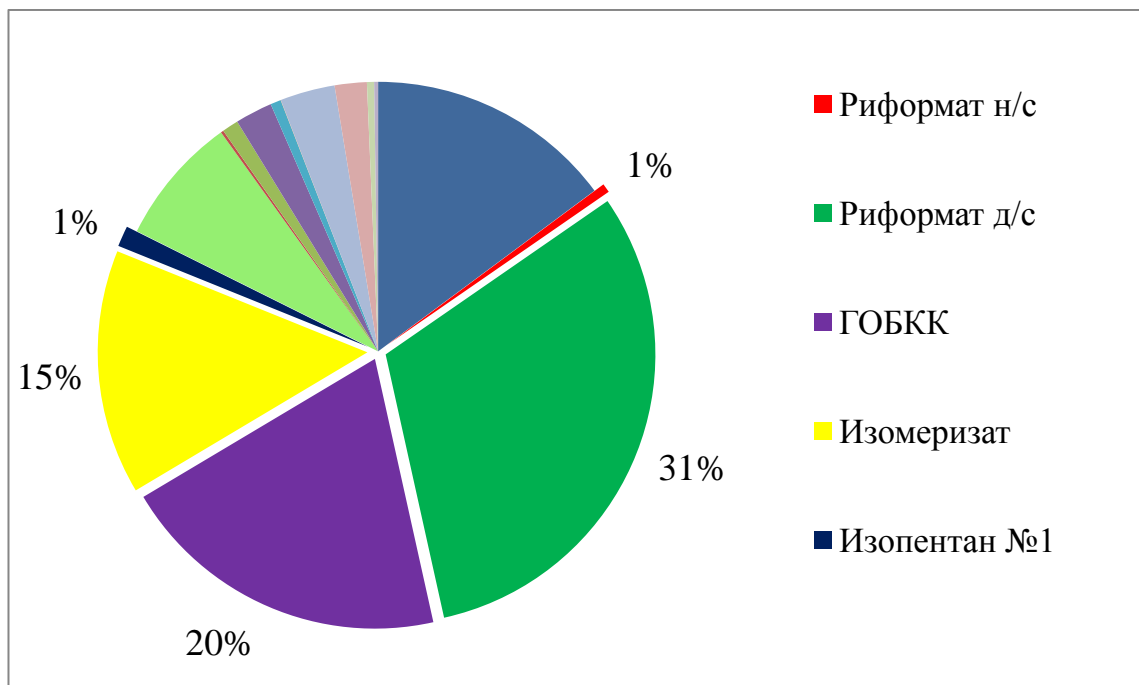


Рисунок 3.4. Рецепт смешения бензина марки Премиум-95

Таблица 3.8 – Свойства бензина марки Премиум-95, производимых по рецептурам с вариативным сырьем

Свойство	Премиум-95 (I)	Премиум-95	Премиум-95 (II)
ОЧИ	94,5	95,0	96,2
ОЧМ	87,5	88,1	89,3
ДНП, КПа	38,3	45,4	44,4
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	736,8	731,0	732,7
Вязкость, с·Па	43,9	44,4	45,1
н-парафины, % мас.	7,17	7,07	6,65
Изопарафины, % мас.	43,44	42,68	43,33
Нафтены, % мас.	5,86	5,89	5,35
Бензол, % мас.	0,72	0,99	0,53
Ароматика, % мас.	35,96	34,87	35,09
Олефины, % мас.	4,08	5,78	6,06

Как видно из рис. 3.4 большую долю вовлечённого сырья в производство бензина марки Премиум-95 составляют потоки Риформат д/с и ГОБКК, что существенно отразилось на свойствах. Для обоих случаев (Премиум-95 (I) и Премиум-95 (II)) понизилось содержание бензола по



причине низкого содержания его в сырьевом потоке риформинга, содержание ароматических углеводородов возросло для обоих рецептов и превысило допустимое регламентируемое значение (35% мас.), что является недопустимым при сертификации продукта. Также стоит заметить, что для обоих рецептов имеет место снижение ДНП бензина ниже допустимого уровня (45 кПа), соответственно, данный бензин не соответствует требованиям ГОСТ Р 51866-2002 и Технического регламента Таможенного союза.

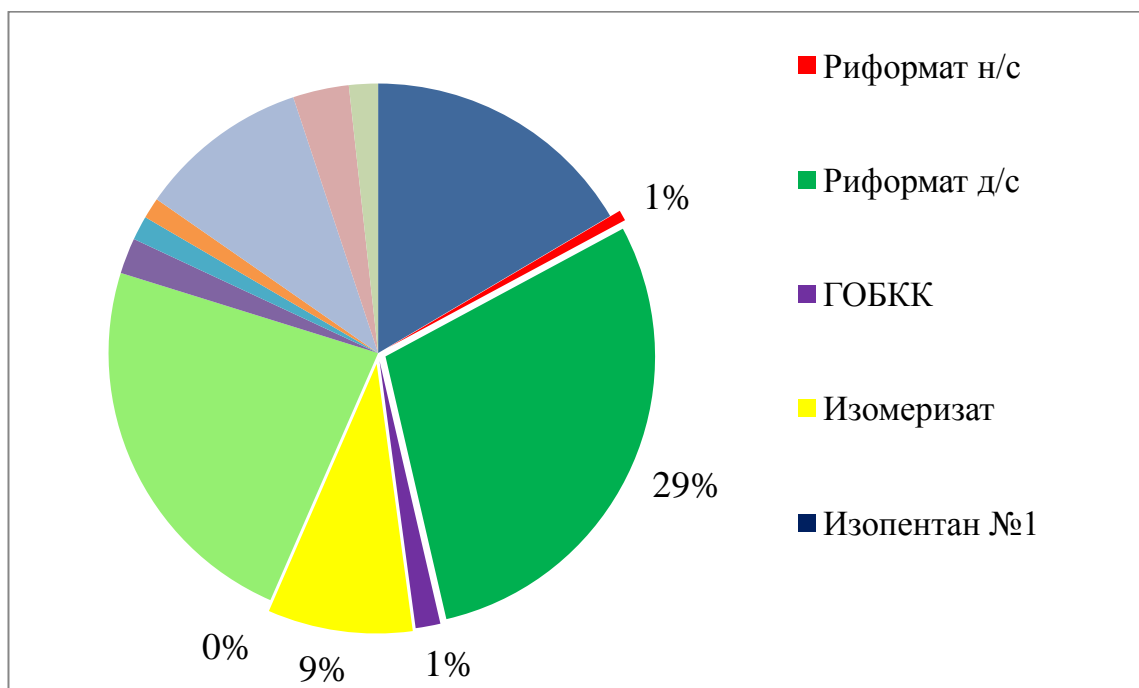


Рисунок 3.5 – Рецептура смешения бензина марки Супер-98

Таблица 3.9 – Свойства бензина марки Супер-98, производимых по рецептурам с вариативным сырьем

Свойство	Супер 98 (I)	Супер 98	Супер 98 (II)
ОЧИ	97,7	98,0	98,7
ОЧМ	89,9	90,4	90,9
ДНП, кПа	47,0	47,8	47,7
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	735,1	734,5	738,2
Вязкость, с·Па	42,8	43,9	44,8
н-парафины, % мас.	8,48	8,37	8,08
Изопарафины, % мас.	37,48	37,23	37
Нафтены, % мас.	4,87	4,93	5,04
Бензол, % мас.	0,67	0,94	0,51
Ароматика, % мас.	33,98	34,03	34,63
Олефины, % мас.	4,76	4,87	4,87

Как можно видеть из рис. 3.5 для рецептуры бензина марки Супер-98 наблюдается увеличение доли высокооктановых потоков, таких как риформат д/с и алкилат; и одновременное уменьшение доли низкооктановых потоков, таких как ГОБKK, что в свою очередь положительно влияет на свойства полученного бензина. Как видно из табл. 3.9, для бензина Супер 98 (II), где в качестве вовлеченного сырья использовались высокооктановые потоки, наблюдается закономерное увеличение октанового числа, содержания ароматических веществ, ДНП топлива и уменьшение содержания бензола в полученном бензине.

На основе полученных данных при вариациях вовлечённых сырьевых потоков в производство бензина можно увидеть, что в случае улучшения сырья происходит увеличение содержания ароматических веществ, что может привести к не допустимому для сертификации качеству продукта. Также в случае вовлечения в производства высокооктанового сырья наблюдается значительное повышение ОЧ бензина (на 1-2 пункта), следовательно, происходит перерасход высококачественных и дорогостоящих потоков. Обычно с увеличением ОЧ потока доля ароматических веществ и, в частности, бензола в потоке также повышается, особенно это характерно для потоков риформинга, что могло бы повлечь за собой превышение допустимых норм по содержанию этих веществ в бензине. Но в данном случае вариативное сырьё выбрано таким образом, что содержание бензола в нем намного меньше, чем в усредненном потоке, в связи с чем, проблема избытка бензола отсутствует.

В случае ухудшения сырья, продукт, произведённый по усредненной рецептуре, демонстрирует ухудшение главной эксплуатационной характеристики – октанового числа, что делает продукт некондиционным. Кроме того, для всех марок бензина при ухудшении вовлеченного сырья снижается такой показатель, как ДНП, что ухудшает пусковые качества топлива.

Таким образом, можно сделать вывод, что при приготовлении бензина большое внимание следует уделять составу вовлекаемого в производство сырья и корректировать рецептуры для выпуска качественной и сертификационной продукции. При этом применение моделирующей системы позволит оптимальным образом выбрать рецептуры смешения бензина: в случае с низкооктановым сырьем корректировка позволит избежать производства некондиционных партий бензина, в случае с высокооктановым сырьем корректировка позволяет уменьшить перерасход высококачественного и дорогостоящего сырья.

## 4 Результаты проведённого исследования

### 4.1 Корректировка рецептур смешения бензинов

Тенденцией последнего времени является увеличение доли производства высокооктановых бензинов – марок Премиум-95 и Супер-98 и уменьшение доли выпуска низкооктановых бензинов. Данная задача является оптимизационно-сложной. Для того чтобы производить бензин наиболее ресурсоэффективным путем производителю приходится пересматривать рецептуры смешения топлива, корректировать рецептуры смешения в условиях реального времени, перераспределять сырье между установками вторичной переработки нефти, а продукты между марками бензина.

Как можно видеть из табл. 3.1 и рис. 3.2 значительную часть производимых на предприятии АО «ГАЗПРОМНЕФТЬ-ОНПЗ» бензинов составляют низкооктановые продукты (на долю бензина марки Нормаль-80 и Газового бензина приходится 20%), тогда как доля высокооктановых составляет 24% (из них всего 1% – бензин марки Супер-98). Такое соотношение объемов производства бензинов различных марок является не ресурсоэффективным, в связи с чем, представляется необходимым провести корректировку рецептур смешения бензинов с целью повысить качество выпускаемого продукта, а также долю высокооктановых марок в общем объеме.

Корректировка рецептур осуществлялась в направлении в увеличении объемов производства высокооктанового, качественного бензина марок Премиум-95 и Супер-98.

В табл. 4.1, 4.2, а также на рис. 4.1-5 представлены скорректированные рецептуры смешения бензинов.

Таблица 4.1 – Скорректированные рецептуры смешения бензинов марок Нормаль-80 и Газовый, % мас.

Потоки	Нормаль-80 (скор.)	Нормаль-80 (сущ.)	Газовый (скор.)	Газовый (сущ.)
ГОВКК	62,28	–	–	–

Кат.крекинг №1	14,77	65,14	–	–
Бензин прямогонный №1	–	28,74	52,27	43,96
Бензин прямогонный №2	–	5,85	20,56	29,92
Рафинат	22,73	0,19	27,18	26,12
МТБЭ	0,11	–	–	–
Конденсат	–	0,07	0	–

Таблица 4.2 – Скорректированные рецептуры смешения бензинов марок Регуляр-92, Премиум-95 и Супер-98, % мас.

Потоки	Регуляр-92 (скор.)	Регуляр-92 (сущ.)	Премиум-95 (скор.)	Премиум-95 (сущ.)	Супер-98 (скор.)	Супер-98 (сущ.)
Алкилат	4,16	4,47	12,89	14,83	17,38	16,51
Риформат н/с	13,63	12,06	2,03	0,54	0,67	0,64
Риформат д/с	13,30	14,27	29,77	31,15	30,77	29,23
ГОВКК	27,36	28,71	11,26	19,92	0,32	1,49
Кат.крекинг №1	19,80	18,15	15,04	7,74	22,23	23,26
Изомеризат	2,21	5,72	19,10	14,67	9,14	8,68
Изопентан №1	15,85	13,07	1,01	1,24	–	–
Изопентан №2	2,10	1,73	0,13	0,16	–	–
Ароматические УВ С9	1,01	1,11	1,36	0,98	–	–
Бензин прямогонный №1	–	–	3,09	2,23	0,39	2,15
Бензин прямогонный №2	–	–	–	0,63	4,73	1,45
Рафинат	–	–	–	0,01	–	1,26
МТБЭ	–	–	2,12	3,29	9,00	10,24
Н-бутан	0,54	0,61	1,65	1,92	3,54	3,36
Толуол	0,02	0,07	0,32	0,43	1,83	1,74
Конденсат	–	0,03	0,24	0,23	–	–

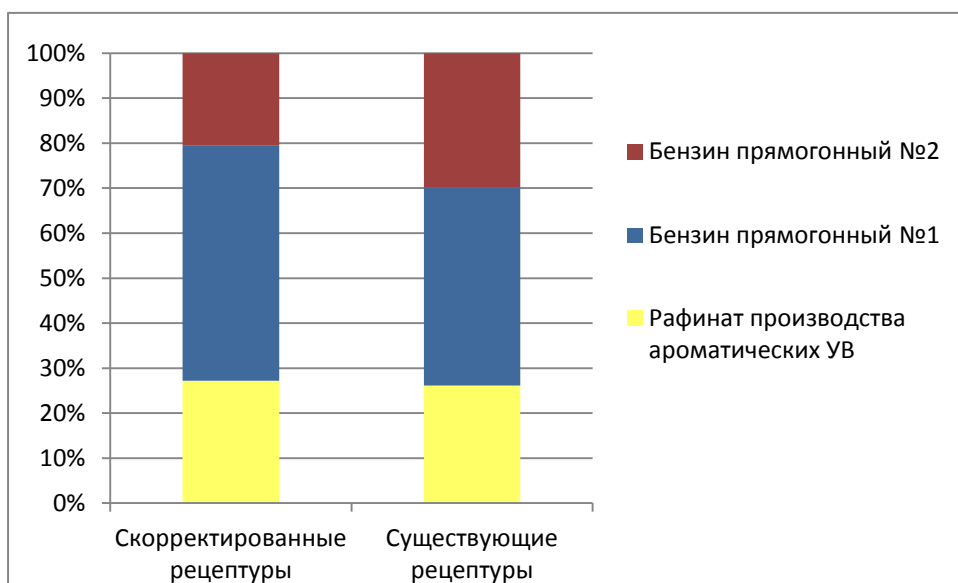


Рисунок 4.1. Рецептуры приготовления Бензина газового

Бензин газовый является полуфабрикатом и используется для дальнейшего приготовления бензина на автомобильных заправочных

станциях, поэтому при корректировке рецептур стояла задача уменьшения производства данного продукта в пользу увеличения производства бензина марки Нормаль-80, имеющего более высокие эксплуатационные и экологические характеристики. Как можно видеть из табл. 4.1 и рис. 4.1 рецептуры смешения Бензина газового в результате корректировки практически не изменились. При приготовлении данной марки основную долю исходного сырья составляют потоки прямогонный бензин №1, прямогонный бензин №2 и рафинат производства ароматических УВ.

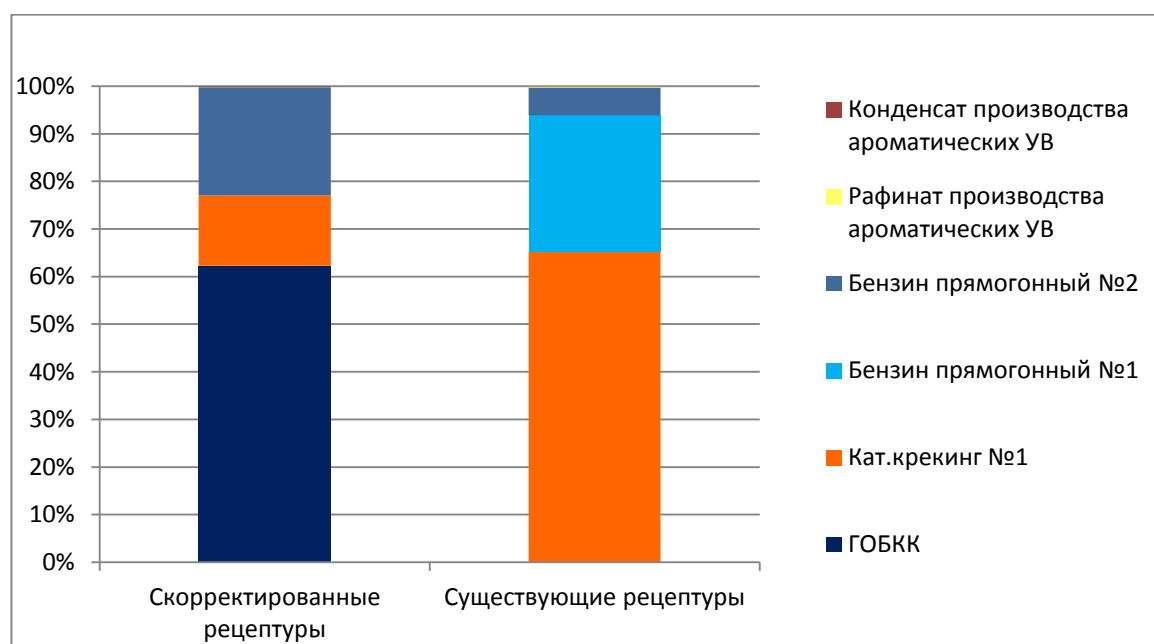


Рисунок 4.2. Рецептуры приготовления бензина марки Нормаль-80

Исходя из данных, представленных на рис. 4.2, можно видеть, что в скорректированной рецептуре смешения бензина марки Нормаль-80 в связи с увеличением объема производства данной марки, доля ГОБKK значительно увеличилась, а доля потока кат.крекинг №1 уменьшилась. Поток кат.крекинга №1 является более высокооктановым, а также обладает более высоким значением ДПН, поэтому данный поток в рецептурах бензина Регуляр-92 и Премиум-95 был заменен на поток ГОБKK. Также некоторое количество ГОБKK, которое вовлечено в смешение бензина Нормаль-80, было взято из рецептуры Регуляр-92, чтобы компенсировать недостаток октанового числа, так как в процессе смешения из рецептуры Регуляр-92

были взяты высокооктановые потоки для бензина марок Премиум-95 и Супер-98.

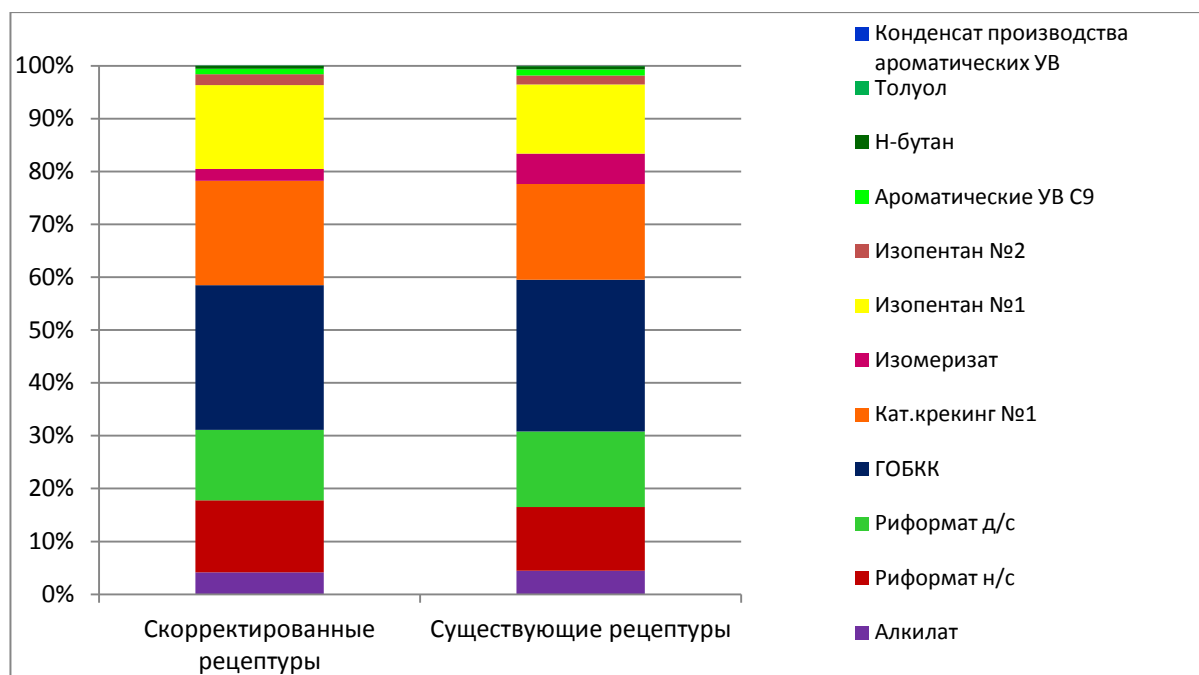


Рисунок 4.3. Рецептуры приготовления бензина марки Регуляр-92

Бензин марки Регуляр-92 подвергся наиболее значительному изменению объема производства – выпуск продукции уменьшился на 17,6% (44 000 тонны). В связи с этим изменению подверглась и рецептура смешения бензина: часть исходного сырья, ранее используемая для приготовления бензина марки Регуляр-92, в частности, высокооктановые потоки – риформат д/с, изомеризат и алкилат, были вовлечены в смешение бензина марок Супер-98 и Премиум-95; а для компенсации октанового числа марки Регуляр-92 в процессе смешения более низкооктановый компонент ГОВББ был заменен на поток кат.крекинга №1 и доля ГОВББ в бензине была уменьшена.

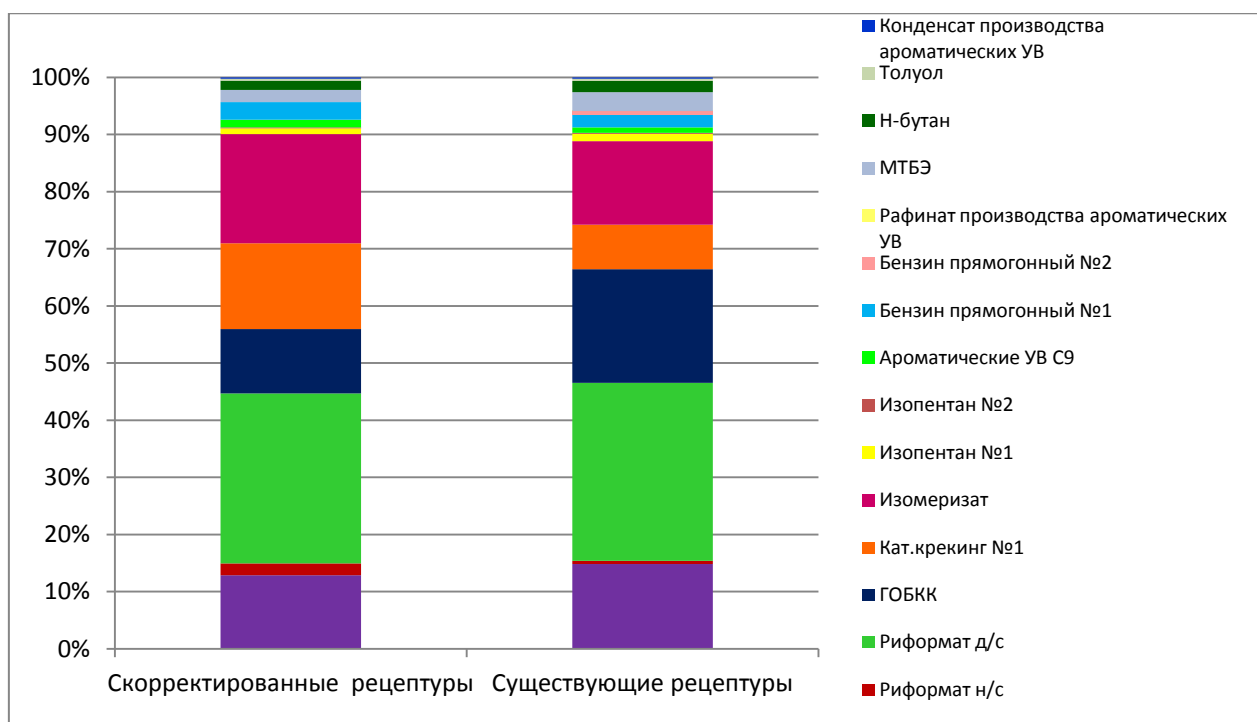


Рисунок 4.4. Рецептуры приготовления бензина марки Премиум-95

Целью корректировки рецептур смешения бензинов было увеличение доли выпуска высокооктановых марок, в частности, марки Премиум-95. В результате корректировки объем производства бензина марки Премиум-95 был увеличен на 22,6% (22 000 тонны). Увеличение объема происходило за счет вовлечения потоков ГОБKK и кат.крекинга №1. Но так как эти потоки обладают относительно низким значением ОЧ, то для компенсации октанового числа бензина в целом, в рецептуре была увеличена доля риформата н/с, ароматических УВ С9, поток ГОБKK заменен на поток кат.крекинга №1 (оба компонента имеются в больших объемах), а для снижения доли ароматических углеводородов и бензола увеличили долю изомеризата.



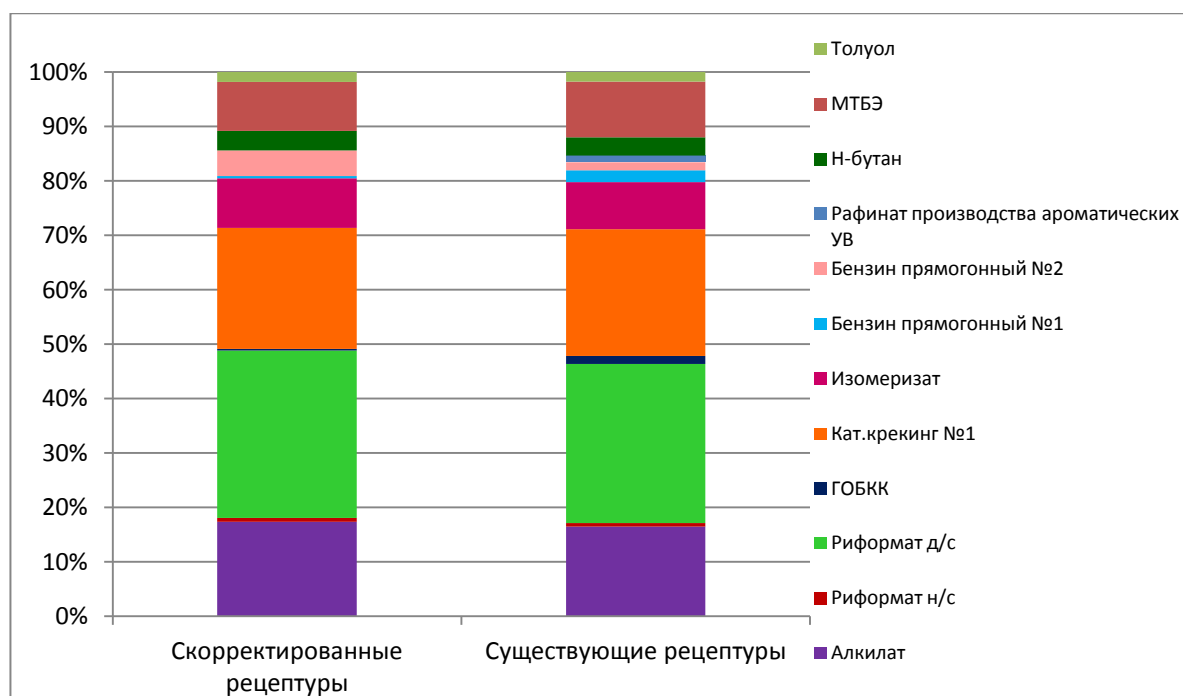


Рисунок 4.5. Рецептуры приготовления бензина марки Супер-98

Как можно видеть из рис. 4.5, изменения в рецептуре смешения бензина марки Супер-98 незначительны, несмотря на значительное увеличение объема производства – на 126 % мас. В существующей рецептуре производства бензина доля МТБЭ была достаточно высока – 10%, но запасы данного компонента являются ограниченными, в связи с этим в скорректированной рецептуре было увеличено содержание других высокооктановых потоков – риформата д/с и алкилата.

В табл. 4.3 представлены свойства бензинов, полученных при использовании скорректированных рецептов смешения.

Таблица 4.3 – Свойства бензинов, приготовленных по скорректированным рецептурам смешения

Характеристика	Нормаль-80	Регуляр-92	Премиум-95	Супер-98	Газовый бензин
ОЧИ	80,0	92,0	95,0	98,0	57,5
ДНП, кПа	41,0	60,0	45,3	47,8	25,1
Бензол, % мас.	0,83	0,98	1,00	1,00	0,45
Ароматические УВ, % мас.	19,46	33,25	34,68	34,72	3,08

Как можно видеть из табл. 4.3 все свойства бензинов соответствуют требованиям Технического регламента Таможенного союза и ГОСТ Р 51866-2002, а значит, разработанные рецептуры смешения могут использоваться

для приготовления бензина на предприятии АО «ГАЗПРОМНЕФТЬ-ОНПЗ». Можно заметить, что в результате корректировки содержание ароматических углеводородов и бензола в бензинах приблизилось к максимальному, но при этом не превышает допустимое значение. Это означает, что для дальнейшего увеличения объемов производства потребуется вовлекать высокооктановые, но низкоароматические потоки. Таким образом, осуществленная корректировка рецептур позволяет повысить ресурсоэффективность производства, а рецептуры смешения потоков являются оптимальными.

В табл. 4.4 и на рис. 4.6 представлены данные по изменению объема производства бензинов различных марок, в результате корректировки рецептур смешения.

Таблица 4.4 – Изменение объемов производства бензинов

Марка	Существующие рецептуры, тонны	Скорректированные рецептуры, тонны	Изменение объема, % мас.
Нормаль-80	20 714	35 210	+70,0 %
Регуляр-92	253 012	208 597	-17,6%
Премиум-95	102 878	126 118	-22,6 %
Супер-98	7 080	16 007	+126,1 %
Бензин газовый	67 619	65 372	-3,3 %

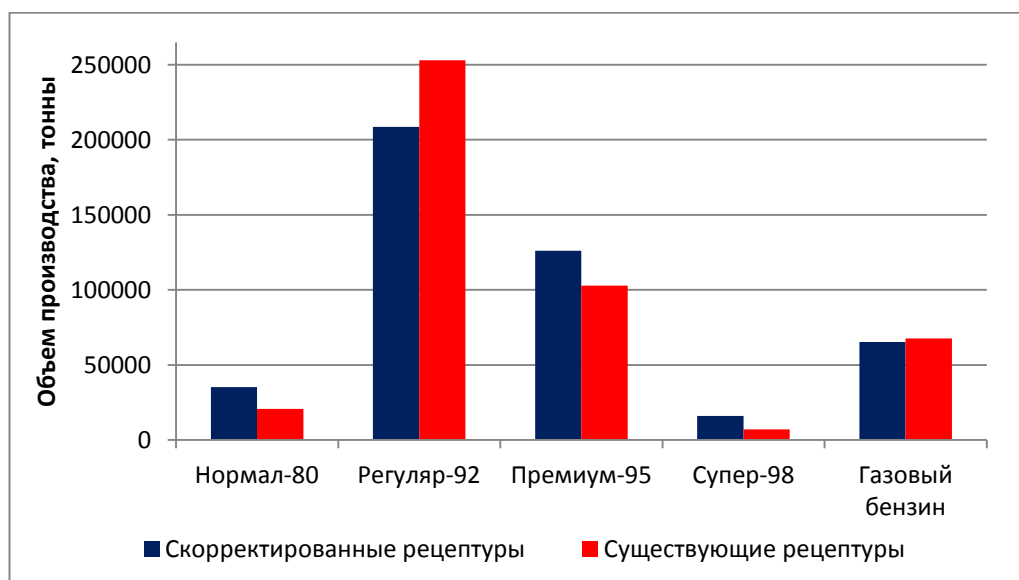


Рисунок 4.6. Изменение объемов производства бензинов, в результате корректировки рецептур

Как можно видеть, объем производства Бензина газового был уменьшен на 3,3 % мас., в то время как объем производства бензина марки Супер-98 был увеличен на 126 % мас. Наиболее сильному изменению объема подвергся бензин марки Регуляр-92. Изменение объема производства данного бензина произошло за счет вовлечения части бензина данной марки в производство бензина марки Нормаль-80, в результате чего объем его производства увеличился на 70 % мас, также часть бензина марки Регуляр-92 пошла на производство бензина марок Премиум-95 и Супер-98.

Изменение объема производства бензина марок Супер-98 и Премиум-95 произошло за счет вовлечения высокооктановых компонентов из бензина марки Регуляр-92, поэтому для компенсации октанового числа доля низкооктановых потоков из рецептуры Регуляр-92 была уменьшена, что повлекло еще большее снижение объемов производства марки Регуляр-92.

## 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

#### Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование [30]. На рисунке 5.1 представлена карта сегментирования рынка по виду оказываемой услуги с применением математической модели процесса гидродепарафинизации дизельного топлива.

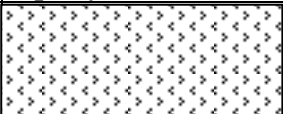



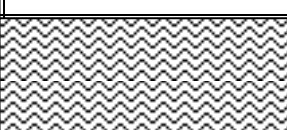

Потребитель	Вид услуги		
	Продажа программного продукта	Оказание услуг по исследованию и оптимизации	Продажа тренировочной версии
Крупные НПЗ			
Средние НПЗ			
Мелкие НПЗ			
Образовательные учреждения			
Проектные организации			

Рисунок 5.1– Карта сегментирования



- фирма А



- фирма Б



- фирма В

На Рисунке 5.1 показано, какие ниши на рынке услуг по применению математической модели не заняты конкурентами или где уровень конкуренции низок.

### Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

В таблице 5.1 представлен сравнительный анализ математической модели(ф), разработанной в рамках выполнения ВКР и двух конкурентных моделей(к1)и(к2),выполненных в 2015 и 2016 годах соответственно.

Таблица 5.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Повышение производительности труда пользователя	0,09	5	2	2	0,45	0,18	0,18
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,07	5	3	3	0,35	0,21	0,21
Энергоэкономичность	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
Надежность	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
Безопасность	0,04	5	5	5	0,2	0,2	0,2

Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность продукта	0,2	5	3	2	1	0,6	0,4
Уровень проникновения на рынок	0,07	4	5	4	0,28	0,35	0,28
Цена	0,08	5	3	4	0,4	0,24	0,32
Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	5	5	5	0,4	0,4	0,4
Послепродажное обслуживание	0,07	5	5	2	0,35	0,35	0,14
Финансирование научной разработки	0,03	4	4	4	0,12	0,12	0,12
Срок выхода на рынок	0,05	5	3	3	0,25	0,15	0,15
Наличие сертификации разработки	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
Итого	1	63	51	46	4,9	3,73	3,23

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i * B_i, (4.1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Разрабатываемая математическая модель является конкурентоспособной на рынке, главным преимуществом которой, является чувствительность к составу перерабатываемого сырья.

### SWOT-анализ

Для комплексной оценки научно-исследовательского проекта применяют SWOT-анализ, результатом которого является описание сильных и слабых сторон проекта, выявление возможностей и угроз для его

реализации, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Итоговая матрица SWOT-анализа представлена в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Возможность оптимизации важного процесса переработки нефтяного сырья – гидродепарафинизации.</li> <li>2. Эффективное использование топливно-энергетических ресурсов.</li> <li>3. Возможность проведения необходимых исследований без вмешательства в работу</li> <li>4. Отсутствие аналогичных математических моделей по процессу</li> </ol>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ограниченность экспериментальных данных с промышленной установки.</li> <li>2. Отсутствие учета в модели реакции коксо-образования на катализаторе депарафинизации.</li> <li>3. Отсутствие экспериментальных образцов для проведения анализа.</li> </ol>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>5. Чувствительность к изменению состава сырья.</li> <li>6. Наличие бюджетного финансирования</li> <li>7. Квалифицированный персонал.</li> </ol>	
<p><b>Угрозы:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Создание подобной модели на рынке в более быстрые сроки</li> <li>2. Внедрение других моделей на предприятия отечественных НПЗ</li> <li>3. Отсутствие спроса не заинтересованность предприятий по внедрению инновационного проекта</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Продвижение новой технологии оптимизации процесса с применением математической модели.</li> <li>2. Развитие конкурентной среды.</li> <li>3. Введение в модель чувствительности к составу сырья</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Разработка научного исследования</li> <li>2. Повышение квалификации кадров у потребителя</li> <li>3. Приобретение необходимых экспериментальных данные по составу сырья и продукта с промышленной установки.</li> </ol>
<p><b>Возможности:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Внедрение разработанной модели на предприятия нефтепереработки для оптимизации процесса производства дизельных топлив.</li> <li>2. Внедрение разработанной модели на производство для отработки действий персонала.</li> <li>3. Внедрение системы в</li> </ol>	<p>Разработка математической модели процесса каталитической гидродепарафинизации на основании физико-химической основы процесса с учетом реакционной способности углеводородов, участвующих в реакциях</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ограниченность экспериментальных данных с промышленной установки.</li> <li>2. Отсутствие данных о содержании кокса на катализаторе.</li> <li>3. Повышение эффективности использования сырья на предприятии</li> <li>4. Повышение квалификации персонала на производстве</li> </ol>

образовательную сферу в качестве компьютерного тренажера для обучения		5.Создание тренировочной версии для обучения студентов основам процесса гидродепара-
студентов. 4.Использование инновационной инфраструктуры ТПУ 5. Внедрение на Российский НПЗ процесса гидродепарафинизации и соответственно повышение спроса на разрабатываемый продукт.		финизации, закономерностям процесса. 6.Отсутствие экспериментальных образцов для проведения анализа.

В данном разделе был проведен SWOT-анализ, представленный в таблице 5.2. По его результатам были выявлены сильные и слабые стороны проекта, а так же угрозы и возможности. Так же было выявлено то, как можно компенсировать слабые стороны проекта за счет его возможностей и нейтрализовать угрозы с помощью сильных сторон проекта. Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

## 5.2 Планирование научно-исследовательских работ

В Таблице 5.3 составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ.

Таблица 5.3 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления	2	Выбор направления исследований	Руководитель,



исследований			бакалавр
	3	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
	4	Изучение литературы: назначение процесса, термодинамический анализ реакций, составление формализованной схемы превращений	Бакалавр
	5	Разработка кинетической модели	Руководитель, бакалавр
	6	Проверка модели на адекватность	Бакалавр
	7	Расчет на разработанной математической модели	Бакалавр
	8	Оценка эффективности полученных результатов	Бакалавр
	9	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель
Обобщение и оценка результатов	10	Составление пояснительной записки	Бакалавр
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	11	Подготовка к защите дипломной работы	Бакалавр
	12	Защита дипломной работы	Бакалавр, руководитель
	12	Сдача работы на рецензию	Бакалавр

### Определение трудоемкости выполнения работ

Ожидаемая трудоемкость выполнения [30]:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{mini}} + 2t_{\text{max}i}}{5} \quad (5.2)$$

где  $t_{\text{ож}i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Ожидаемая трудоемкость для этапов работы приведенных в таблице 5.3 рассчитывается по формуле (5.2):

$$t_{\text{ож1}} = \frac{3 * 1 + 2 * 2}{5} = 1,4, \text{ чел.-дн.}$$

Продолжительность каждой работы в рабочих днях [30]:

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i} \quad (5.3)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Продолжительность каждого этапа работы приведенных в таблице 4.3 рассчитывается по формуле (5.3):

$$T_{p1} = \frac{1,4}{1} = 1,4$$

#### Разработка графика проведения научного исследования

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (5.4)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Продолжительность выполнения каждого этапа работы приведенных в Таблице 5.3 рассчитывается по формуле (5.4).

$$T_{k1} = 1,4 \cdot 1,48 = 2,08 = 2$$

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (5.5)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 119} = 1,48$$

### 5.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением[30].

#### Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле[30]:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх}i} \quad (5.6)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх}i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к

использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты на приобретение тетради рассчитываются по формуле (4.6):

$$Z_m = (1 + 7) \cdot 35 \cdot 1 = 219$$

Для остальных видов материальных ресурсов расчет аналогичен. Результаты в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество		Цена за ед. с НДС, руб.		Затраты на материалы, (З <sub>м</sub> ), руб.	
		Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
Тетрадь	шт.	1	2	20	20	160	320
Ручка	шт.	1	4	60	60	510	2040
Флешка	шт.	1	1	250	250	9625	9625
Картридж для принтера	мл	100	200	6	6	1140	2280
Бумага	листов	500	600	0,52	0,52	432	518
Скоросшиватель	шт.	1	3	55	55	509	1526
Итого						12376	16309

Исп.1 – руководитель, исп.2 – бакалавр.

#### Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

Расчет затрат на приобретение программного обеспечения (ПО) в таблице 5.5

Таблица 5.5 – расчеты затрат на приобретение ПО

Наименование ПО		Стоимость ПО с НДС, руб.	
Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.3
Microsoft office	Microsoft office	2900	2900

Delphi	Delphi	43800	43800
Итого:		46700	46700

### Расчет заработной платы

Расчет основной заработной платы представлен в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Расчёт основной заработной платы

№	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудо-емкость, чел.-дн.	Заработная плата, на один чел.-дн., тыс.руб.	Всего заработная плата по окладам без к <sub>р</sub> , тыс. руб.
1	Разработка технического задания, выбор направления исследований, оценка результатов	Руководитель, аспирант	12	1,458	17,496
3	Теоретические и экспериментальные исследования. Расчет на разработанной модели, оформление отчета по НИР	Бакалавр	55	0,181	9,955
Итого:					27,451

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (5.7)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;  $Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (5.8)$$

В ТПУ

$$Z_{осн} = Z_{б} \cdot K_p \quad (5.8^*)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн,

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (5.9)$$

В формуле (5.9)  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, рабочих дней (таблица 5.7).

Таблица 5.7 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней – выходные дни – праздничные дни	118	118
Потери рабочего времени – отпуск – невыходы по болезни	92	92
Действительный годовой фонд рабочего времени	155	155

Месячный должностной оклад работника[30]:

$$Z_m = Z_6 * k_p, (5.10)$$

где  $Z_6$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_6$ , руб.	$k_p$	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	17496	1,3	22745	1526	155	236530
Бакалавр	9955	1,3	12941	868	155	134540

#### Расчет дополнительной заработной платы

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 12-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} \quad (5.11)$$

где  $Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной зарплаты ( 13 % от  $Z_{\text{осн}}$ );

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.

Результаты расчета в таблице 5.9

#### Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (5.12)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1% [30].

Результаты расчета в таблице 5.9.

#### Расчет затрат на научные и производственные командировки

Затраты на научные и производственные командировки исполнителей определяются в соответствии с планом выполнения темы и с учетом действующих норм командировочных расходов различного вида и транспортных тарифов.

#### Контрагентные расходы

Контрагентные расходы включают затраты, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями (контрагентами, субподрядчиками).

Расчет величины этой группы расходов зависит от планируемого объема работ и определяется из условий договоров с контрагентами или субподрядчиками.

#### Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) * k_{\text{нр}} \quad (5.13)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Результаты расчета в таблице 5.9.

#### Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции[30].

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Руководитель	Бакалавр
Мат.затраты	12376	16309
Затраты на спец. Оборудование	46700	46700
ЗП. Основная	236530	134540



ЗП. Дополнительная	30748,9	17490,2
Отчисления во ВнФ	72165,3	-
Затраты на научн. командировки	-	-
Контрагентские расходы	-	-
Накладные расходы	37844,8	21526,4
Бюджет НТИ	436365	236565,6

Согласно полученным результатам бюджет затрат НТИ составляет 672930,6 рублей.

#### **5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования**

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как [30]:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (5.14),$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{ф}}^1 = 1477048/2770452=0.53$$

$$I_{\phi}^2 = 2770452/2770452 = 1$$

$$I_{\phi}^3 = 1554352/2770452 = 0.56$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 5.10

Таблица 5.10 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда	0,1	4	4	5
2. Удобство в эксплуатации	0,15	2	3	4
3. Энергосбережение	0,15	4	5	5
4. Надежность	0,20	3	4	4
5. Воспроизводимость	0,25	5	3	5
6. Материалоемкость	0,15	4	5	4
ИТОГО	1			

$$I_{p.-исп1} = 0,1 * 4 + 0,15 * 2 + 0,15 * 4 + 0,20 * 3 + 0,25 * 5 + 0,15 * 4 = 3,8$$

$$I_{p.-исп2} = 0,1 * 4 + 0,15 * 3 + 0,15 * 5 + 0,2 * 4 + 0,25 * 3 + 0,15 * 5 = 3,9$$

$$I_{p.-исп3} = 0,1 * 5 + 0,15 * 5 + 0,15 * 4 + 0,20 * 4 + 0,25 * 5 + 0,15 * 4 = 4,5$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{исп.и}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}}, I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}} \text{ и т.д.} \quad (5.15)$$

$$I_{исп.1}^1 = 3,8/0,53 = 7,2$$

$$I_{исп.2}^2 = 3,9/1 = 3,9$$

$$I_{исп.3}^3 = 4,5/0,56 = 8,0$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов

исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{cp}$ ) [30]:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (5.16)$$

Таблица 5.11 - Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Интегральный финансовый показатель разработки	0,53	1	0,56
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,8	3,9	4,5
Интегральный показатель эффективности	7,2	3,9	8,0
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,1	2,1	1

В результате проведенной работы была спроектирована и создана конкурентоспособная разработка, отвечающая современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

## **6 Социальная ответственность**

### **6.1 Характеристика факторов рабочего места**

При выполнении ВКР полностью вся работа выполнялась в компьютерном классе.

Проанализируем факторы рабочей зоны на предмет выявления их вредных проявлений. В данном исследовании к факторам рабочей зоны относятся производственные метеоусловия, электромагнитные поля, производственное освещение, шумы, вибрации.

Микроклимат производственных помещений – это метеорологические условия внутренней среды этих помещений, определяющиеся такими факторами, как температура, влажность и скорость движения воздуха, температура окружающих поверхностей.

Микроклимат влияет на процесс переноса тепла и тип работы. Метеорологические условия определяются температурой воздуха, влажностью и скоростью движения воздуха, интенсивностью теплового излучения. Влияние на человека неблагоприятных метеорологических условий в течение длительного времени в резкой форме ухудшают его состояние здоровья, снижают продуктивность и приводят к болезням. Повышенная температура воздуха приводит к скорой утомляемости служащего, также приводит к перегреву организма, тепловому удару или профзаболеванию. Пониженная температура окружающей среды работника может вызвать охлаждение организма, вызвать простуду или обморожение[31].

Влажность воздуха сильно воздействует на терморегуляцию организма человека. Повышенная влажность и повышенная температура воздуха приводит к перегреванию организма, а при пониженной температуре повышенная влажность увеличивает теплопередачу с поверхности кожи, что приводит к переохлаждению организма. Пониженная влажность способствует пересыханию слизистых оболочек служащего.

В помещении, где находится компьютер средняя температура воздуха 22 °С, относительная влажность воздуха 55%, скорость движения воздуха – 0,1 м/с. Ориентируясь на оптимальные и допустимые показатели микроклимата на рабочих местах (СанПиН 2.2.2.542-96), можно сделать вывод о том, что метеоусловия являются оптимальными, то есть гарантируют поддержание нормального функционального и теплового состояния организма без напряжения реакции терморегуляции и производят условия для повышенной степени работоспособности.

Спектр электромагнитного излучения (источник – компьютер) естественного и техногенного происхождения, воздействующий на человека в быту и в производственной обстановке, обладает интервалом волн от одной тысяч километров (переменный ток) до одной триллионной части миллиметра (космические энергетические лучи). Имеется два источника электромагнитного излучения: монитор и системный блок.

Продолжительное действие электромагнитного поля на организм приводит к повреждению функционального состояния нервной и сердечнососудистой систем. Что проявляется в высоком утомлении, понижении работоспособности, изменении давления и пульса.

Уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах нормы допустимых уровней напряженности электрических полей зависят от времени нахождения служащего в рабочей зоне. Время приемлемого нахождения в контролируемой зоне в часах:

$T = 50/E - 2$ . Производство в условиях облучения электрическим полем с напряженностью 20–25 кВ/м продолжается не более 10 минут. При напряженности не выше 5 кВ/м пребывание людей в рабочей зоне допускается в течение 8 часов.

Характерные требования к помещениям, где используются компьютеры:

- Площадь на одно рабочее место должна быть не менее 6 м<sup>2</sup>, а объем - не менее 20 м<sup>3</sup>;

- Не допускается расположение рабочих мест в подвальных помещениях;
- Для повышения влажности воздуха в помещениях с компьютерами следует применять увлажнители воздуха, ежедневно заправляемые дистиллированной или прокипяченной питьевой водой;
- До и после работы за компьютером, помещение необходимо проветривать в течении 5-10 минут.

Особо важная область оптического спектра электромагнитных излучений – видимый свет (излучение с длиной волны от 0,38–0,4 до 0,75–0,78 мкм) [31]. Свет снабжает зрительное восприятие, которое дает около 90 % информации об окружающей среде, воздействует на тонус центральной и периферической нервной системы, на обмен веществ в организме, его иммунные и аллергические реакции, на дееспособность и здоровье человека. Скучное освещение рабочего места осложняет длительную работу, вызывает повышенное утомление и способствует развитию близорукости. Слишком низкие уровни освещенности приводят к апатии и сонливости, а иногда вызывают развитие чувства тревоги. При длительной работе в условиях минимального освещения снижениется интенсивность обмена веществ в организме и ослабляется его реактивность. Так же, нежелательно пребывание в комнате с ограниченным спектральным составом света и монотонным режимом освещения.

Работа, связанная с документами требует хорошего освещения. Слишком яркое освещение уменьшает зрительные функции, способствует перевозбуждению нервной системы, снижает дееспособность, нарушает механизм сумеречного зрения. Воздействие чрезмерной яркости может вызывать фотоожоги глаз и кожи, кератиты, катаракты и другие нарушения.

Гигиеническое нормирование искусственного и естественного освещения. Нормируемыми параметрами для систем искусственного освещения являются: величина минимальной освещенности  $L_{дон}$ , допустимая яркость в

поле зрения  $L_{don}$ , а также показатель ослепленности  $P$  и коэффициент пульсации  $K_n$  (СНиП 23–05–95) [31].

Шум лабораторной установки – это беспорядочное сочетание звуков различной частоты и интенсивности, возникающих при механических колебаниях в упругой среде (твердой, жидкой или газообразной). Длительное воздействие шума снижает остроту слуха и зрения, повышает кровяное давление, утомляет центральную нервную систему, в результате чего ослабляется внимание, увеличивается количество ошибок в действиях рабочего, снижается производительность труда. Воздействие шума приводит к появлению профессиональных заболеваний и может явиться причиной несчастного случая.

Органы слуха человека воспринимают звуковые колебания с частотой 16–25000 Гц. Колебания с частотой ниже 20 Гц (инфразвук) и выше 20000 Гц (ультразвук) не вызывают слуховых ощущений, но оказывают биологическое воздействие на организм. Гигиенические нормативы шума определены ГОСТ 12.1.003 - 83\* «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности» и СН 2.2.4/2.1 .8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых и общественных зданий».

Для снижения шума в помещениях проводятся следующие основные мероприятия:

- уменьшение уровня шума в источнике его возникновения;
- звукопоглощение и звукоизоляция;
- установка глушителей шума;
- рациональное размещение оборудования.

Вибрация лабораторной установки – процесс распространения механических колебаний в твердом теле. Вибрация по способу передачи телу человека подразделяется на общую (воздействие на все тело человека) и локальную (воздействие на отдельные части тела – руки). При воздействии общей вибрации наблюдаются нарушения сердечной деятельности, расстройство нервной системы, спазмы сосудов, изменения в вестибулярном

аппарате. Локальная вибрация, возникающая при работе с ручным механизированным инструментом (в данном случае это мышь), вызывает спазмы периферических сосудов, различные нервно – мышечные и кожно – суставные нарушения.

Частотный диапазон расстройств зрительных восприятий лежит между 60 и 90 Гц, что соответствует резонансу глазных яблок.

Для снижения вибрации используют следующие методы:

- виброизоляция;
- вибродемпфирование, под которым понимают превращение энергии механических колебаний в тепловую.

Важным для снижения опасного воздействия вибрации на организм человека является правильная организация труда и отдыха, постоянное медицинское наблюдение, лечебно – профилактические мероприятия.

## **6.2 Производственная безопасность**

Промышленное производство бензинов на нефтеперерабатывающем предприятии осуществляется на автоматических станциях смешения бензинов (АССБ), которые являются важным технологическим узлом НПЗ. На АССБ происходит прием, приготовление, хранение, перекачка и отгрузка потребителям товарных продуктов с использованием трубопроводов, насосов и резервуаров, вспомогательной анализирующей и контролирующей аппаратуры. Наряду с другими установками на НПЗ, АССБ является взрывопожароопасной установкой, вследствие работы с легковоспламеняющимися жидкостями под высоким давлением.

Согласно отраслевым нормам [32], обслуживающий персонал должен быть обеспечен специальной одеждой, обувью, каской, средствами индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД), спец. питанием (молоком), моющими средствами.

Среди основных факторов, угрожающих здоровью персонала, на АССБ присутствуют следующие:



Таблица 6.1 – Характеристика факторов

<b>ФАКТОРЫ</b>	
<i><b>Вредные</b></i>	<i><b>Опасные</b></i>
1. Вредные вещества	1. Механические
2. Производственные шумы и вибрации	2. Электрические
3. Освещение	3. Пожаровзрывоопасные

## **6.3 Анализ факторов производственной среды**

### **6.3.1 Вредные вещества**

Специфика АССБ предполагает работу с вредными для здоровья персонала смесями углеводородов, входящих в состав бензина. Температура кипения бензина составляет от 30 до 200 °С, плотность – около 0,75 г/см<sup>3</sup>, теплотворная способность порядка 10500 ккал/кг.

В составе бензина может присутствовать более 200 индивидуальных углеводородов, входящих в такие технологические потоки, как бензины каталитического крекинга, бензины каталитического риформинга, МТБЭ (с примесями метанола), алкилаты, изомеризаты и другие.

Согласно [33] такие вещества, используемые в технологии производства бензинов, могут быть классифицированы как химически вредные; в Таблице 6.2 представлена информация об их химических свойствах и особенностях контакта с организмом человека. Наиболее токсичны при этом такие компоненты бензина, как толуол, бензол, МТБЭ, метанол. По своей физико-химической природе при нормальных условиях данные вещества являются легколетучими жидкостями, что определяет их высокую опасность для персонала при вдыхании, контакте с кожей, слизистыми оболочками.

Для уменьшения влияния на данного фактора организм человека предусмотрены такие средства и мероприятия коллективной защиты, как вытяжные шкафы, и регулярное проветривание помещений. К индивидуальным защитным средствам относятся: специальная одежда, обувь, средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД), использование которых предотвращает вероятность вредного воздействия химических соединений на организм человека. Соблюдение предписанных требований безопасности и употребление спецпитания значительно снижает риск проявления токсичности данных веществ.

Таблица 6.2 – Характеристика токсичных свойств сырья, полупродуктов и готовой продукции производства

Наименование сырья, полупродуктов, продуктов и некоторых опасных веществ, входящих в состав бензина	Класс опасности	Агрегатное состояние при условиях производства	ПДК в воздухе рабочей зоны производственных помещений	Характеристика токсичности
Компоненты бензинов: - бензин каталитического крекинга; - бензин каталитического риформинга.	4	Жидкое	300/100 мг/м <sup>3</sup>	Раздражает слизистую оболочку и кожу человека при острых отравлениях действует на центральную нервную систему, вызывает головокружение, потерю сознания.
Метанол	3	Жидкое	15/5 мг/м <sup>3</sup>	Сильнодействующий яд, поражает центральную нервную, сердечно-сосудистую системы. Приём внутрь 5-10 гр. вызывает тяжелое отравление, слепоту
Бензол	2	Жидкое	15/5 мг/м <sup>3</sup>	Пары бензола вызывают развитие лейкемии, анемии, нарушение функции костного мозга, головокружения, слабость, нарушения сна; оказывают негативное влияние на почки, печень, кости, кровеносную и нервную системы.

Толуол	2	Жидкое	150/50 мг/м <sup>3</sup>	Толуол негативно действует на кроветворные органы, оказывает вредное влияние на кожу.
МТБЭ	4	Жидкое	300/100 мг/м <sup>3</sup>	Действует угнетающе на ЦНС.
Алкилаты	4	Жидкое	300/100 мг/м <sup>3</sup>	Пары оказывают наркотическое действие, вызывают головную боль, изменение скорости рефлекторных реакций.
Изомеризаты	4	Жидкое	300/100 мг/м <sup>3</sup>	Пары оказывают наркотическое действие, вызывают головная боль, изменение скорости рефлекторных реакций.
Товарные бензины: - Нормаль-80 - Регуляр-92 - Премиум-95 - Супер-98	4	Жидкое	300/100 мг/м <sup>3</sup>	Пары оказывают наркотическое действие, раздражают верхние дыхательные пути и кожу

### **6.3.2 Механические опасности**

На АССБ к механическим опасностям можно отнести:

- механизмы и подвижные части оборудования, неустойчивые конструкции (насосы и их части, трубопроводы и их отводы);
- режущие, колющие и падающие предметы (выступающие части оборудования);
- повышенный уровень шума, колебаний и вибраций (насосная);
- рабочее место на высоте (резервуарный парк).

Методы и средства защиты:

1. Обеспечение недоступности опасной зоны (заграждения, запрет доступа и входа).

2. Уменьшение опасности при помощи специальных приспособлений, к которым относятся:

- оградительные устройства (стационарные, съемные, переносные, частичные, могут быть сплошными и сетчатыми);
- предохранительные устройства ограничения (слабое звено), шпонки, мембраны;
- блокировочные (механические, электрические, оптические, радиационные и др.), которые соединены с пусковым механизмом.
- обеспечение безопасности при работе на высоте (страховочные крепежи, поручни, лестницы).

### **6.4 Электробезопасность**

Электробезопасность установки должна обеспечиваться в любых возможных нормальных и аварийных эксплуатационных ситуациях.

Источниками электрической опасности могут являться:

- оголенные части проводов или отсутствие изоляции;
- отсутствие заземления;
- замыкания;
- статическое напряжение.

Электробезопасность обслуживающего персонала и посторонних лиц должна обеспечиваться выполнением следующих мероприятий:

- Соблюдение соответствующих расстояний до токоведущих частей или путем закрытия;
- Ограждения токоведущих частей;
- Применение блокировки аппаратов и ограждающих устройств для предотвращения ошибочных операций и доступа к токоведущим частям;
- Применение предупреждающей сигнализации, надписей и плакатов;
- Применение устройств для снижения напряженности электрических и магнитных полей до допустимых значений;
- Использование средств защиты и приспособлений, в том числе для защиты от воздействия электрического и магнитного полей в электроустановках, в которых их напряженность превышает допустимые нормы.

Согласно [34], проведен контроль напряжений прикосновения и токов в местах, где может произойти замыкание электрической цепи через тело человека. Класс точности измерительных приборов не ниже 2,5.

Согласно правилам защиты от статического электричества в производствах химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности для предупреждения возможности возникновения опасных искровых разрядов с поверхности оборудования, перерабатываемых веществ, а также с тела человека необходимо предусматривать, с учетом особенностей производства, следующие меры, обеспечивающие стекание возникающих зарядов статического электричества:

- отвод зарядов путем заземления оборудования и коммуникаций, а также обеспечения постоянного электрического контакта с заземлением тела человека;
- отвод зарядов путем уменьшения удельных объемных и поверхностных электрических сопротивлений;

- нейтрализация зарядов путем использования радиоизотопных, индукционных и других нейтрализаторов.

Для снижения интенсивности возникновения зарядов статического электричества:

- всюду, где это технологически возможно, горючие газы очищены от взвешенных жидких и твердых частиц; жидкости - от загрязнения нерастворимыми твердыми и жидкими примесями;

- всюду, где этого не требует технология производства, исключено разбрызгивание, дробление, распыление веществ;

- скорость движения материалов в аппаратах и магистралях не превышает значений, предусмотренных проектом.

Во взрывоопасных производствах, где могут накапливаться заряды статического электричества, технологическое и транспортное оборудование изготовлено из материалов, имеющих удельное объемное электрическое сопротивление не выше  $10^5$  Ом·м.

## **6.5 Пожаровзрывобезопасность**

В соответствии со ст. 27 [35], АССБ относится к категории А — повышенная взрывопожароопасность, так как к этой категории относятся помещения, в которых обращаются горючие газы и легковоспламеняющиеся жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси.

Причинами возгорания в помещении операторной могут являться: нарушения электропроводки (оголенные части проводов или отсутствие изоляции), что может спровоцировать возгорание; использование неисправного электрического оборудования, в том числе компьютеров; утечки из технологических трубопроводов, резервуаров и насосов в непосредственной близости от операторной.

В целях обеспечения надежности и безопасности работы, предусматривается ряд мероприятий, обеспечивающих безопасное ведение технологического процесса:

- герметичность арматуры оборудования и трубопроводов;
- автоматический контроль технологического процесса со щита в операторной;
- закрытая система сбросов на факел и дренирования подтоварной воды, что позволяет предотвратить загазованность участка, тем самым уменьшить вероятность пожара и взрыва;
- система аварийного освобождения аппаратов и трубопроводов, а также освобождение их от продуктов перед ремонтом;
- оснащение процесса средствами противоаварийной защиты, предупреждающими об отклонениях от норм технологического режима, исключающими возможность выбросов продуктов через предохранительные клапаны;
- система продувки инертным газом и паром аппаратов и трубопроводов перед ремонтом и пуском в работу;
- обеспечение удобных подъездов пожарной техники к оборудованию, размещенному на открытой площадке;
- наличие противопожарных разрывов между парками;
- наружное пожаротушение обеспечивается от системы пожарного водоснабжения;
- защита зданий, сооружений, аппаратов, оборудования и трубопроводов от вторичных проявлений молний и статического электричества;
- предотвращение взрывов в помещениях с нормальной средой, вследствие проникновения горючих газов и паров, обеспечивается приточными и вытяжными вентиляционными системами;
- наличие первичных средств пожаротушения во всех помещениях и подразделениях АССБ.



Здания и сооружения должны быть обеспечены первичными средствами пожаротушения в соответствии с Правилами пожарной безопасности в Российской Федерации, государственных стандартов и отраслевых нормативов.

Для ликвидации небольших очагов пожара на территории объекта необходимо иметь первичные средства тушения пожара – огнетушители, ящики с песком, асбестовые одеяла (кошмы), пожаротушение.

Защита от пожара резервуаров осуществляется путем охлаждения стенок резервуаров водой, подаваемой через стационарные лафетные стволы и передвижной пожарной техникой.

Снаружи здания АССБ, резервуарных парков должны быть установлены электрические извещатели пожарной сигнализации общего назначения.

## **6.6 Охрана окружающей среды**

В рамках нефтеперерабатывающего завода, АССБ является объектом средней степени воздействия на окружающую среду.

Газы, уходящие в атмосферу, должны контролироваться по содержанию в выбросах углеводородов  $C_1$ - $C_5$ , бензола, толуола и ксилола, которые не должны превышать установленных норм на предприятии.

При разливе компонентов бензинов или товарной продукции происходит неконтролируемое скопление жидкой фазы на объекте. При попадании разливов нефтепродуктов в сточные воды необходимо провести их анализ на содержание вредных примесей, так как согласно [36] не допускается утечка нефти и нефтепродуктов.

Разлив засыпается песком, который затем вывозится на полигон. Не допускается проведение каких-либо огневых работ, эксплуатация насосного оборудования, техники вблизи мест разлива.

Разлитый метанол смывается большим количеством воды (в помещении) или засыпается песком, который затем вывозится на полигон.

## **6.7 Правовые вопросы обеспечения безопасности**

При выполнении научно-исследовательской работы необходимо следовать требованиям трудового кодекса РФ.

Согласно [37] , необходимо проводить обязательные предварительные (при поступлении на работу) и периодические медицинские осмотры (обследования) работников, занятых на тяжелых работах и на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

Проект перечня национальных стандартов, содержащих правила и методы исследований (испытаний) и измерений, в том числе правила отбора образцов, необходимо использовать средства индивидуальной защиты [38].

Во избежание несчастных случаев, следует проводить обучение и проверять знания работников [39].

## Выводы

В ходе проделанной работы были достигнуты следующие результаты:

1. В рамках работы было проведен анализ существующих рецептур смешения бензинов, используемых на АО «ГАЗПРОМНЕФТЬ-ОНПЗ». Было установлено, что соотношение объемов производства бензинов по маркам на заводе является неэффективным, так как на долю высокооктановых марок бензина – Премиум-95 и Супер-98 приходится меньше четверти выпускаемой продукции.

2. При анализе состава, детонационных характеристик и физико-химических свойств сырьевых потоков, используемых для производства бензинов на предприятии АО «ГАЗПРОМНЕФТЬ-ОНПЗ» было установлено, что более половины используемого сырья, это потоки с высоким содержанием ароматических углеводородов и бензола, что осложняет выпуск товарных бензинов, соответствующий всем требованиям ГОСТ Р 51866-2002 и Технического регламента Таможенного союза.

3. В рамках работы было проведено исследования влияния состава сырья на рецептуру смешения и свойства получаемого бензина. Было установлено, что для выпуска продукции, соответствующей всем требованиям современных стандартов и ресурсоэффективного ведения производства необходимым является учитывать состав вовлекаемого в смешение сырья и своевременно осуществлять корректировку рецептур. При этом применение моделирующей системы позволит оптимальным образом выбрать рецептуры смешения бензина: в случае с низкооктановым сырьем корректировка позволит избежать производства некондиционных партий бензина, в случае с высокооктановым сырьем корректировка позволяет уменьшить перерасход высококачественного и дорогостоящего сырья.

4. Была осуществлена корректировка рецептур смешения бензина, отражающая концепцию ресурсоэффективного производства. В результате корректировки объем выпуска высокооктановых марок бензина – Премиум -95 и Супер-98 был увеличен на 8% (32 000 тонн). Получаемые бензины соответствуют всем требованиям Технического регламента Таможенного союза и ГОСТ Р 51866-2002.

## Список публикаций студента

№	Наименование работы, ее вид	Характер работы	Выходные данные	Объем, стр.	Соавторы
Научные работы всего: 4					
Статьи, опубликованные в изданиях, индексируемых международными базами данных Web of Science и Scopus:4					
1	«Correction of gasoline blending recipes with the use of computer modelling system »	Печатная	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2015 - Vol. 93, Article number 012014. - p. 1-7.	7	Kirgina M. V. Sakhnevich B. V. Chekantsev N. V. Ivanchina E. D..
2	«Complex modeling system for optimization of compounding process in gasoline pool to produce high-octane finished gasoline fuel»	Печатная	Chemical Engineering Journal. - 2015 - Vol. 282. - p. 1-12	12	Ivanchina E. D. Kirgina M. V. Chekantsev N. V. Sakhnevich B. V. Romanovsky R. V
3	«Calculation of gasoline octane numbers taking into account the reaction interaction of blend components»	Печатная	Procedia Chemistry. - 2014 - Vol. 10. - p. 477-484;	8	Maylin M. V. , Kirgina M. V. Sakhnevich B. V. Ivanchina E. D.
4	«Optimization of High-Octane Gasoline Production»	Печатная	Advanced Materials Research. - 2014 - №. 880. - p. 121-127;	7	Kirgina M. V. Maylin M. V. Ivanchina E. D.
Доклады и тезисы докладов, опубликованные в материалах Международной (Всероссийской) конференции: 13					
1.	«Исследование влияния присадок и добавок на октановое число бензина», доклад	Печатная	Труды XVII Международного научного симпозиума студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр», Томск, 2013 г., с. 144-146 <b>(12063-2013)</b>	3	Киргина М.В.
2.	«Исследование влияния присадок и добавок на октановое число бензина», доклад	Печатная	Сборник докладов IV Всероссийской конференции студентов Элитного технического образования «Ресурсоэффективным технологиям - энергию и энтузиазм молодых», Томск, 2013 г., с. 37-39 <b>(1447512-2013)</b>	3	Киргина М.В, Иванчина Э.Д.
3.	«Исследования сырья процесса компаундирования с использованием компьютерной моделирующей системы», доклад	Печатная	Материалы XII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Информационные технологии и математическое моделирование», Анжеро-Судженск, 2013 г., с. 149-152 <b>(1447712-2013)</b>	4	Киргина М.В
4.	«Исследование состава базовых компонентов товарных бензинов с использованием компьютерной моделирующей системы», доклад	Печатная	Материалы II Региональной студенческой научной конференции «Наука и молодежь в XXI веке», Омск, 2013 г., с. 31-34 <b>(161402-2014)</b>	5	Киргина М.В.
5.	«Optimal recipes of trade gasoline blending development by using computer model system	Печатная	Материалы XV Международной научно-практической конференции имени профессора Л.П. Кулёва	2	Kirgina M.V.

	«Compounding», доклад		студентов и молодых ученых с международным участием «Химия и химическая технология в XXI веке», Томск, 2014 г., с. 248-249 ( <b>644606-2014</b> )		
6.	«Применение компьютерной моделирующей системы «Compaunding» для разработки оптимальных рецептур смешения товарных бензинов», доклад	Печатная	Сборник научных трудов V Всероссийской конференции студентов Элитного технического образования «Ресурсоэффективным технологиям - энергию и энтузиазм молодых», Томск, 2014 г., с. 28-30 ( <b>621806-2014</b> )	3	Киргина М.В
7.	«Разработка оптимальных рецептур смешения товарных бензинов с использованием компьютерной моделирующей системы», доклад	Печатная	Сборник материалов XIII Международной молодежной научно-технической конференции «Будущее технической науки», Нижний Новгород, 2014 г., с. 376 ( <b>621906-2014</b> )	1	Киргина М.В
8.	«Применение компьютерной моделирующей системы «Compaunding» для исследования состава базовых компонентов товарных бензинов», доклад	Печатная	Сборник материалов VI Всероссийской 59-й научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «РОССИЯ МОЛОДАЯ», Кемерово, 2014 г. ( <b>930809-2014</b> )	4	Киргина М.В
9.	Разработка оптимальных рецептур смешения товарных бензинов с использованием компьютерной моделирующей системы	Печатная	Будущее технической науки: сборник материалов XIII Международной молодежной научно-технической конференции, Нижний Новгород, 23 Мая 2014. - Нижний Новгород: Изд-во НГТУ, 2014 - С. 376	1	Киргина М.В.
10.	«Применение компьютерной моделирующей системы для исследования состава сырья процесса компаундирования», доклад	Печатная	Материалы VII Международной научно-практической конференции молодых ученых «Актуальные проблемы науки и техники», Уфа, 2014 г., с. 161-162 ( <b>285703-2015</b> )	2	Киргина М.В
11.	«Корректировка рецептур смешения бензинов с использованием компьютерной моделирующей системы», доклад	Печатная	Материалы XVI Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология в XXI веке», посвященной 115-летию со дня рождения профессора имени профессора Л.П. Кулёва, Томск, 2015 г., с. 83-84	2	Киргина М.В
12.	Корректировка рецептур смешения бензинов с использованием компьютерной моделирующей системы	Печатная	Математика и информационные технологии в приложениях: материалы международного студенческого симпозиума, Сочи, 17-21 Мая 2015. - Сочи: СГУ, 2015 - С. 110-112	3	-
13.	Improving the Resource Efficiency of Trade	Печатная	7th International Youth Scientific and Practical Congress Oil and	1	Kirgina M. V.

	Gasoline Production by Correction of Blending Recipes		Gas Horizons: Book of Abstracts, Moscow, November 24-26, 2015. - Москва: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина , 2015 - р. 63		
--	---	--	---	--	--

## Список литературы

1. Смоликов М.Д. Производство современных бензинов на отечественных НПЗ. Проблемы и пути решения // Химия под знаком СИГМА: исследования, инновации, технологии: Всероссийская молодежная школа-конференция – Омск, 16-24 мая 2010. – Омск: Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, 2010. – С. 251-252.
2. Гуреев А.А., Азев В.С. Автомобильные бензины. Свойства и применение: Учебное пособие для вузов. – М.: Нефть и газ, 1996. – 444 с.
3. Ахметов С.А. и др. Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа: Учебное пособие / С.А. Ахметов, Т.П. Сериков, И.Р. Кузеев, М.И. Баязитов; Под ред. С.А. Ахметова. – СПб.: Недра, 2006. – 868 с.
4. Данилов А.М. Применение присадок в топливах. – М.: Мир, 2005. – 288 с.
5. Данилов А.М. Присадки и добавки. – М.: Мир, 1996. – 304 с.
6. Горошко С.А., Фролова Н.В., Маликов И.В. Производство автомобильных бензинов с улучшенными экологическими характеристиками в России: проблемы и перспективы. – Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе, 2012. – №10. – С. 35-40.
7. Моделирование процесса приготовления высокооктановых бензинов на основе углеводородного сырья в аппаратах циркуляционного типа [Электронный ресурс]: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук; спец. 05.17.08 / Ю. А. Смышляева; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; науч. рук. Э. Д. Иванчина. – Электронные текстовые данные – Томск, 2011.
8. Г.Л. Матузов, А.Ф. Ахметов. Пути производства автомобильных бензинов с улучшенными экологическими свойствами. – Башкирский химический журнал. 2007. – Том 14. – №2. – С. 121-125.
9. Абдульминев К.Г., Ахметов А. Ф., Сайфуллин Н.Р., Соловьев А.С., Абдуллахи Х.М. // Баш. хим. ж.– 2000.–Т.7. –№2.– С. 47.

- 10.Технология производства реформулированного бензина.— Информационные материалы фирмы UOP, 1995.
- 11.Ермолаева Н.А. Реконструкция НПЗ в шт. Калифорния для производства бензина модифицированного состава. Переработка нефти и нефтехимия. // Экспрессинформ. ЦНИИТЭнефтехим.— 1997.—№16.— С. 9.
- 12.Пат. 2131909 Россия, МПК 6 С 10 G 63/00. Н.Р. Сайфуллин, М.М. Калимуллин, П.Г. Навалихин и др. Способ получения экологически чистого высокооктанового бензина. №98111894/04; Заяв. 01.07.98, Опубл.20.06.99, Бюл. №17.
- 13.Джавадова М.Н., Касимов А.А., Аскерзаде С.М., Пириева Х.Б., Эльдарова С.Г., Джамалова С.А., Худиева И.А., Гаджизаде С.А., Зейналова С.А., Исмаилова З.Р. Способ получения высокооктанового компонента автобензинов на новом твердом катализаторе. — Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2015. — №11. — С. 6-10.
- 14.Двинин В.А. Возможные сценарии модернизации НПЗ с получением высококачественных топлив. Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2007. — № 3. — С. 12-22.
- 15.Иванов С.В., Титова О.С., Трачевский В.В., Грушак З.В., Столярова Н.В. Разработка композиционных присадок для повышения октанового числа бензинов. Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2010. — № 5. — С. 37-40.
- 16.Лазарев В.А. Октаноповышающая нового поколения «R&T Octane». Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2014. — №12. — С. 3-4.
- 17.Хон Ван. Активатор октанового числа бензина T1109E. Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2014. — №10. — С. 3-6.



18. T.A. Albahri, M.R. Riazi, A.A. Alqattan, "Octane number and aniline point of petroleum fuels". Fuel Chemistry Division Preprints, Vol. 47, Issue 2, 2002, pp. 710-711.
19. T.A. Albahri, "Structural group contribution method for predicting the octane number of pure hydrocarbon liquids", Industrial and Engineering Chemistry Research, Vol. 42, Issue 3, 2003, pp. 657-662.
20. C.H. Twu, J.E. Coon, "Predict octane numbers using a generalized interaction method", Hydrocarbon Processing, Vol. 75, Issue 2, 1996, pp. 51-56.
21. P. Ghosh, K.J. Hickey, S.B. Jaffe, "Development of a detailed gasoline composition-based octane model", Industrial and Engineering Chemistry Research, Vol. 45, Issue 1, 2006, pp. 337-345.
22. M.V. Kirgina, E.D. Ivanchina, I.M. Dolganov, N.V. Chekantsev, A.V. Kravtsov, F. Fu, Computer Program for Optimizing Compounding of High-Octane Gasoline, Chemistry and Technology of Fuels and Oils, Vol. 1, 2014, pp. 12-18.
23. M.V. Kirgina, M.V. Maylin, E.D. Ivanchina, E.V. Sviridova, Optimization of High-Octane Gasoline Production, Advanced Materials Research, Vol. 880, 2014, pp. 121-127.
24. Kirgina M., Gyngazova M., Ivanchina E. Mathematical modeling of high-octane gasoline blending, Proc. 7th International Forum on Strategic Technology IFOST-2011, Tomsk, September 18-21, Tomsk: TPU Press, 2012, Vol. 1, pp. 30-33.
25. Моделирование процесса компаундирования высокооктановых бензинов: Методические указания к выполнению лабораторных работ для слушателей программы повышения квалификации «Процессы глубокой переработки углеводородного сырья» / сост. М.В. Киргина. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 25 с.
26. Кравцов А.В., Иванчина Э.Д. Компьютерное прогнозирование и оптимизация производства бензинов. Физико-химические и технологические основы. – Томск: STT, 2000. – 192 с.

27. Киргина М.В., Иванчина Э.Д., Долганов И.М., Смышляева Ю.А., Кравцов А.В., Фан Фу. Моделирование процесса приготовления товарных бензинов на основе учета реакционного взаимодействия углеводородов сырья с высокооктановыми добавками // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2012. – № 4. – С. 3-8.
28. Храпов Д.В. Переход на продукцию класса 5. Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2015. – №8. – С. 13-14.
29. АО «Газпромнефть-Омский НПЗ» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://onpz.gazprom-neft.ru>, свободный.
30. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Криницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
31. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы: санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03: утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 13 июня 2003 г. № 118 г. Москва.
32. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация. М.: Стандартинформ, 2007. – 10 с.
33. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Стандартинформ, 2008. – 49 с.
34. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. – М.: Стандартинформ, 2008. – 20 с.
35. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. N123-ФЗ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс]. – Режим

доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_148963](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_148963), свободный.

- 36.ГОСТ 17.1.3.13-86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений.
- 37.Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны: гигиенические нормативы ГН 2.2.5.1313-03: утверждены главным государственным санитарным врачом РФ 27.04.2003. Москва.
- 38.Гигиенические требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений: санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.4.1294-03: утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 18 апреля 2003г. Москва.
- 39.Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок; приказ Минтруда России от 24.07.2013 N 328н, зарегистрировано в Минюсте России 12.12.2013 N 30593.